



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ ZATÍŽENÍ
LETOUNU**

EXPERIMENTAL LOAD DEFINITION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Dratva

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Letecký ústav
Student: Bc. Jakub Dratva
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Stavba letadel
Vedoucí práce: doc. Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Experimentální stanovení zatížení letounu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě letových zkoušek a měření student vyhodnotí skutečné zatížení křídla za letu. Změřené hodnoty porovná se zatížením vypočteným pro konkrétní letové případy.

Cíle diplomové práce:

- výpočet zatížení
- provedení experimentu
- vyhodnocení naměřených dat
- porovnání naměřených dat s teorií

Seznam doporučené literatury:

DANĚK, M. Zkoušení letadel za letu. VUT Brno, 1993.

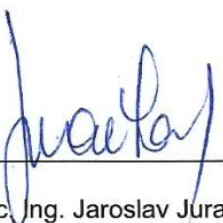
ČALKOVSKÝ, A., PÁVEK, J. Konstrukce a pevnost letadel I. Brno, 1986.

PÍŠTĚK, A., GRÉGR, O., KAHÁNEK, V., BÖHM, R. Pevnost a životnost letadel. Brno, 1987.

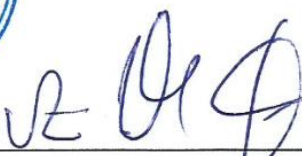
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 14. 11. 2017





doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá experimentálním stanovením pevnostních charakteristik letounu. Konkrétně je pomocí letového měření stanoven ohybový moment na křídle. V práci je zahrnuta teoretická báze pro tenzometrické měření a postup následného statistického vyhodnocení získaných dat. Pro naměřené letové manévry je vypočítáno teoretické zatížení křídla a následně jsou hodnoty porovnány. Závěr práce zobrazuje návrhy na zpřesnění použité metodiky letového měření při možném opakování experimentu.

ABSTRACT

The thesis is focused on experimental load definition of an aircraft. Especially is measured bending moment is measured on wing during the flight. The thesis includes theoretical basis for strain gauge measurements and procedure of statistic evaluation. For each of flight maneuvers, there are theoretical wing loads calculated and then the values are compared. The end of the thesis shows proposals for improvement of used method of flight possible repeated measurement.

KLÍČOVÁ SLOVA

Letoun, letové měření, tenzometry, kalibrace, manévr, výpočet zatížení, křídlo.

KEYWORDS

Aircraft, flight measurement, strain gauges, calibration, maneuver, calculated loading, wing.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRATVA, J. *Experimentální stanovení zatížení letounu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 67 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ivo Jebáček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Experimentální stanovení zatížení letounu** vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího diplomové práce doc. Ing. Ivo Jebáčka, Ph.D., s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně

.....
Jakub Dratva

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing. Ivo Jebáčkovi, Ph.D. za vstřícný přístup a cenné rady při tvorbě diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Františku Vaňkovi, Ph.D. za pomoc a rady při výpočtu zatížení a v neposlední řadě Leteckému Ústavu VUT v Brně za zapůjčení prostředků nutných k vykonání experimentu.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	11
POUŽITÝ SYSTÉM SOUŘADNIC.....	12
ÚVOD.....	13
1. PROVEDENÍ EXPERIMENTU.....	14
1.1. Letové měření obecně	14
1.2. Tenzometrické měření.....	14
1.2.1. Měření neelektrických veličin elektrickou cestou	14
1.2.2. Snímače.....	14
1.2.3. Odporové snímače – tenzometry.....	15
1.2.4. Kalibrace	23
1.3. Schéma měřicího systému	23
2. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY LETOUNU	28
3. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	30
3.1. Data v softwaru DeweSoft	30
3.1.1. Naměřené veličiny	31
3.1.2. Rozdělení naměřených hodnot.....	31
3.1.3. Vypočítané hodnoty	32
3.2. Způsob statistického vyhodnocení naměřených dat.....	32
3.2.1. Násobek, odezvy tenzometrů a ohybový moment	32
3.2.2. Rychlost a výška	33
3.2.3. Hmotnosti a centráže.....	34
3.2.4. Vykreslení dat v letové obálce zatížení.....	35
3.3. Výsledky měření.....	36
4. VÝPOČET ZATÍŽENÍ KŘÍDLA.....	39
4.1. Aerodynamické, geometrické a hmotnostní vstupy do výpočtu	39
4.1.1. Geometrické a hmotnostní vstupy.....	39
4.1.2. Aerodynamické vstupy	39
4.2. Rozložení vztlaku	40
4.3. Vliv vyvažovací síly od vodorovných ocasních ploch.....	42
4.3.1. Výpočet aerodynamického středu křídlo-trup.....	43
4.4. Vliv trupu	44
4.5. Aerodynamické zatížení	48
4.6. Zatížení od setrvačných sil	51
4.7. Výsledné zatížení	53

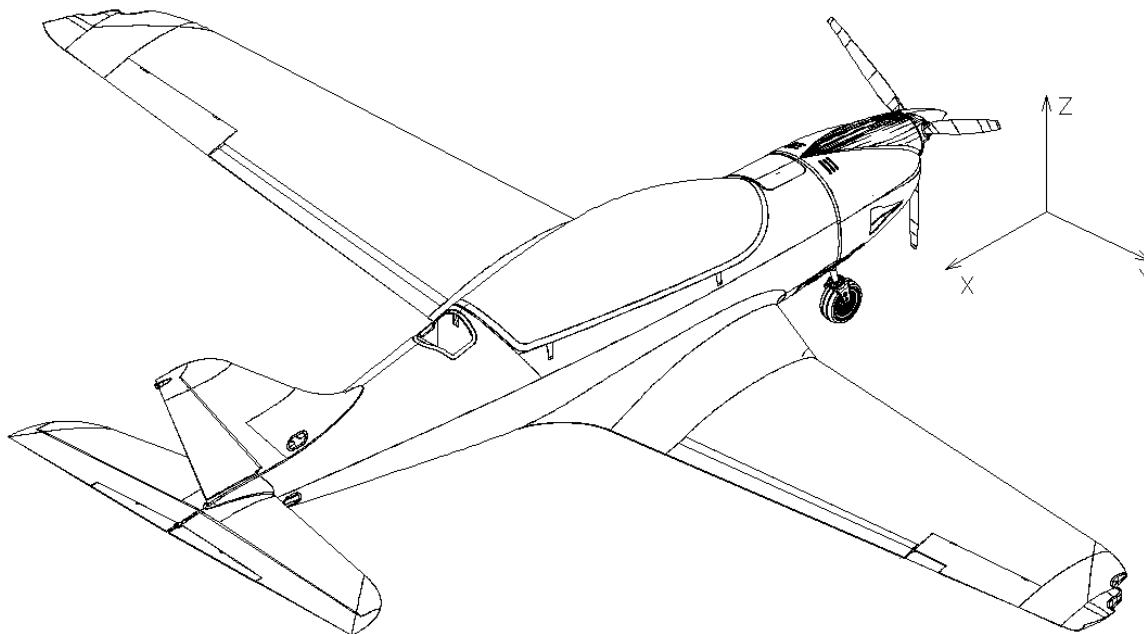
5. POROVNÁNÍ VÝSTUPŮ Z EXPERIMENTU S TEORETICKÝMI VÝPOČTY	56
5.1. Návrhy na zpřesnění.....	61
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	64

Seznam použitých zkratk

0G	Zero Gravity	Nulová gravitace
3D	Three-dimensional	Trojrozměrný
APS	Absolute pressure sensor	Snímač absolutního tlaku
CAN	Controller Area Network	Datová sběrnice
CFD	Computation Fluid Dynamic	Výpočtové modelování proudění
DPS	Differential pressure sensor	Snímač diferenčního tlaku
EPAD	Electrically Powered Actuation Device	El. poháněné ovládací zařízení
FSO	Full scale output	Plný rozsah výstupu
GPS	Global Positioning System	Globální poziční systém
LAN	Local Area Network	Lokální síť
MSA	-	Mezinárodní standardní atmosféra
M _{TOW}	Take-off weight	Vzletová hmotnost
RPM	Revolutions Per Minute	Otáčky za minutu
SYNC	Synchronization	Synchronizace
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
VGA	Video Graphics Array	Grafické video pole
VOP	-	Vodorovné ocasní plochy
WI-FI	Wireless Fidelity	Bezdrátový přenos

Použitý systém souřadnic

System souřadnic v diplomové práci je v souladu s 3D modelem letounu.



Úvod

Letové měření patří obecně k náročné disciplíně, která vyžaduje zkušenosti, čas, finance a mnohdy i trpělivost. Mnoho firem vyrábějící letouny v České republice provádí pouze nutné certifikační letové zkoušky a na výzkumné již mnohdy nezbývají finanční prostředky.

V návrhu jakéhokoliv letounu je nepostradatelný výpočet zatížení křídla, trupu, ocasních ploch a dalších částí. Vznikají ale otázky: Jaká je skutečnost? Jaké jsou reálné hodnoty tohoto zatížení na vyrobeném letounu? Lze dohledat mnoho dokumentů a reportů z poválečného období, které dokladují měření a porovnání naměřených a vypočtených veličin, avšak pouze pro letouny vyšších kategorií. U velmi lehkých letounů se v návrhu vychází z předpokladů pro větší letouny s vyšší hmotností, nicméně skutečné hodnoty nejsou proměřeny.

Cílem provedení experimentu je zjištění ohybového momentu na křídle ultralehkého letounu. Protože měření bude prováděno na již vyrobeném letounu s omezeným přístupem do vnitřní části křídla, bude možné měření pouze v jednom řezu. Aby experiment měl relevantní porovnání, vyžaduje se provedení výpočtů zatížení křídla pro dané úseky měření, což je dalším cílem této práce.

Výsledky by měly přinést první zkušenosti s měřením pevnostních charakteristik ultralehkého letounu za letu a tím vytvořit návrhy na jeho následné zpřesnění v případě dalšího opakování a také udělat opatření proti vzniku možných chyb měření a vyhodnocení. Mimo jiné by výsledky měření měly být zpětnou vazbou pro výrobce letounu a jeho výpočetní oddělení.

1. Provedení experimentu

Cílem experimentu je provést letové měření ohybového momentu na křídle letounu za pomoci elektrické měřicí techniky. Tato kapitola pojednává o teorii měření a samotném provedení experimentu.

1.1. Letové měření obecně

Do rozvoje letectví patří bezesporu i zkoušení za letu. Mezi první měření patřilo určení délky a doby letů, později přibýlo měření základních letových výkonů. Dále rozvoj pokračoval v průběhu druhé světové války v oblasti měření letových vlastností. Příchod nové techniky si vynutil rozvoj teorie letových zkoušek. Mimo teoretické základy rostly také základy materiální, kterými jsou dnes velmi přesné přístroje umožňující záznam dat na vysoké vzorkovací frekvenci. Díky moderní technice existuje možnost získat velké množství informací během jednoho letu.

Letové měření se dá obecně rozdělit do následujících kategorií:

- Výzkumné zkoušky – řeší základní problémy aerodynamiky, mechaniky letu, konstrukce, pevnosti letounu, únavy materiálů atd.,
- prototypové (certifikační) zkoušky – slouží k ověření aerodynamického a statického výpočtu letounu,
- kontrolní zkoušky – pro porovnání vlastností strojů z výrobní série s vlastnostmi prototypu, nebo vlastnostmi téhož stroje po určité době provozu [1].

Mezi zvláštnosti letových zkoušek patří neustálenost ovzduší způsobující rozptýl v naměřených datech. Z tohoto důvodu je potřeba výsledky zpracovávat statisticky. Dalšími zvláštnostmi jsou různé kombinace teploty, tlaku a hustoty, které je nutno vyhodnocovat pro konkrétní manévry.

Měření pevnostních charakteristik za letu, které bylo v experimentu provedeno, spadá do kategorie výzkumných zkoušek.

1.2. Tenzometrické měření

Pro provedení experimentu je potřeba nainstalovat příslušné snímače pro měření dané veličiny. V případě měření ohybového momentu na křídle se jedná o měření veličiny neelektrické elektrickou cestou.

1.2.1. Měření neelektrických veličin elektrickou cestou

Významnou pozici v tomto měření hrají snímače s elektrickým výstupním signálem, které se používají nejen pro měření elektrických veličin (např. proud, napětí, odpor, ...), ale také pro měření neelektrických veličin (např. síla, moment, dráha, ...). Využití elektrické cesty pro zjištění neelektrických veličin přináší oproti klasickým metodám měření mnoho výhod. Mezi tyto výhody patří vyšší přesnost, větší citlivost, možnost záznamu, možnost počítačového zpracování výsledků apod. Toto měření má i nevýhody, těmi jsou větší náklady na měřicí kanál a údržbu, nutná kvalifikace obsluhy ad [2].

1.2.2. Snímače

Snímače jsou nejdůležitější částí měřicího řetězce. Jsou vyrobeny ze špičkových a čistých materiálů. Mezi hlavní požadavky na snímače patří např. jednoznačná závislost výstupní

veličiny na vstupní, velká citlivost, požadovaná přesnost, maximální spolehlivost, jednoduchá konstrukce, jednoduchá údržba ad.

Základní rozdělení snímačů:

- Dle styku s prostředím:
 - dotykové – v přímém styku s objektem, který je měřen,
 - bezdotykové – nepřímé měření (např. pyrometry na měření vyzařování).
- Dle fyzikálního principu:
 - mechanické,
 - elektrické,
 - pneumatické,
 - optické,
 - rezonanční,
 - fotoelektrické,
 - kombinované.

Významnou kategorií jsou elektrické snímače, které lze rozdělit do dalších podskupin:

- Elektrické snímače:
 - pasivní,
 - odporové,
 - indukční,
 - kapacitní,
 - ionizační,
 - magnetické,
 - aktivní,
 - indukční,
 - piezoelektrické,
 - termoelektrické.

Aktivní snímače při působení neelektrické veličiny nejsou napájeny, chovají se tedy jako zdroje elektrické energie. U pasivních snímačů se mění některý z parametrů snímače (odpor, indukčnost atd.) při působení neelektrické veličiny a vyžadují napájení [2].

1.2.3. Odporové snímače – tenzometry

Jedná se o nejpoužívanější snímače neelektrických veličin. Využívají se např. v siloměrech, v snímačích krouticích a ohybových momentů, v průmyslových nebo obchodních vahách. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2.2, tenzometry jsou pasivní elektrické snímače, pomocí kterých je měřená veličina převedena na změnu odporu. Pasivní znamená, že bývají připojeny do obvodů s pomocným napětím, nejčastěji jako vyvážený nebo nevyvážený můstek.

Mezi hlavní požadavky patří maximální citlivost, co největší celkový odpor (k eliminaci chyb kabelů, kontaktů atd.), malý teplotní koeficient a lineární závislost mezi poměrnou deformací a změnou odporu.

Velikost deformace se dá stanovit, je-li vodič připevněn na měřený předmět ve směru deformace a je známo, jak se mění ohmický odpor vodiče v závislosti na jeho deformaci. Dle rovnice 1.1 je možné stanovit odpor válcového vodiče R [2].

$$R = \rho_{vod} \frac{l_{vod}}{S_{vod}} \quad [\Omega] \quad (1.1)$$

kde:

ρ_{vod} – měrný odpor materiálu vodiče [Ωm]

l_{vod} – délka vodiče [m]

S_{vod} – průřez vodiče [m^2]

Pro relativní změnu odporu v závislosti na prodloužení u metalických odporových tenzometrů pak platí vztah 1.2.

$$\frac{\Delta R}{R} = \varepsilon \cdot k \quad [-] \quad (1.2)$$

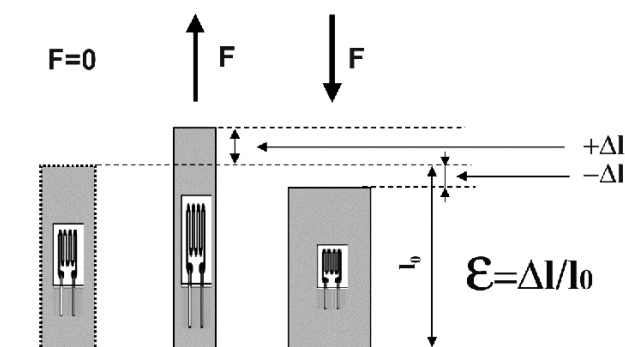
kde:

$\frac{\Delta R}{R}$ – poměrná změna odporu [-]

ε – poměrná změna délky vodiče $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ [-]

k – součinitel deformační citlivosti [-] (např. konstanta $k = 2,05$) [2]

Poměrná deformace ε je také znázorněna na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Poměrná deformace tenzometru [2].

V případě použití tenzometrů pro měření neelektrické veličiny elektrickou cestou je základem převod měřené veličiny na poměrnou deformaci ε pomocí aktivní části měrného členu (pružný kovový měrný člen). Ve druhém stupni se vytvoří poměrná změna odporu, ze které se pomocí napájecího napětí U_n vytvoří výstupní napětí U_m . Pro lineární závislost mezi měrnou neelektrickou veličinou a výstupním napětím U_m musí k -faktor být konstantou. Schématické znázornění činnosti snímače je na obrázku 1.2. [2]

$$X \longrightarrow \varepsilon \longrightarrow \frac{\Delta R}{R} \longrightarrow U_m$$

$$\uparrow$$

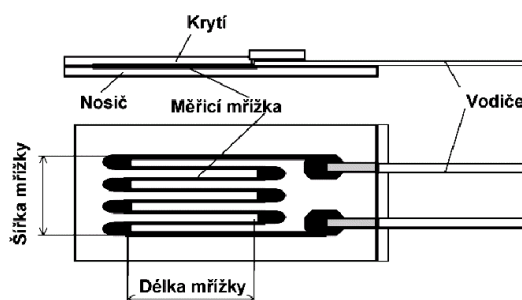
$$U_n$$

Obr. 1.2 Kroky převodu neelektrické veličiny X na měřené napětí U_m [2].

Tenzometry se dělí na několik základních druhů:

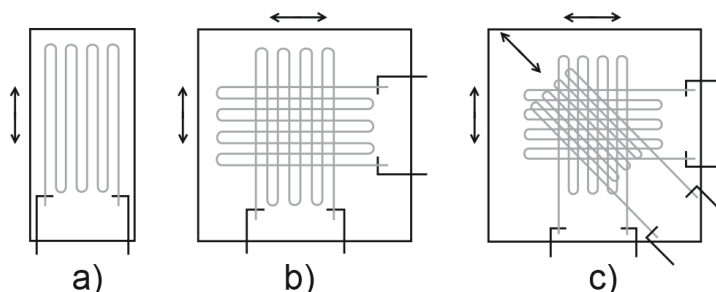
- Kovové tenzometry,
 - příložné,
 - lepené,
- polovodičové tenzometry,
- tenzometry pro měření za vysokých provozních teplot (do 800 °C).

Lepené tenzometry je možno dále rozdělit na drátkové a fóliové. Drátkové lepené snímače mají kruhový průřez odporové mřížky, drát má tvar mnohonásobné vlásenky a bývá nalepen na podložku (z papíru, plastické hmoty nebo kovu). U lepených snímačů fóliových je průřez obdélníkový. Vytvořeny jsou z fólie, která má tloušťku 1 až 10 μm . Vzhledem k tomu, že fóliové snímače mají lepší odvod tepla oproti drátkovým, umožňují tak větší proudové zatížení. Konstrukce fóliových lepených tenzometrů je zobrazena na obrázku 1.3 [2].



Obr. 1.3 Konstrukce lepených fóliových tenzometrů [2].

Lepené tenzometry se mohou dále dělit na jednoosé (a), dvouosé (b), tříosé (c) ad. Každá osa pak dokáže měřit deformaci v jiném směru. Příklady těchto druhů tenzometrů jsou znázorněny na obrázku 1.4 [2].

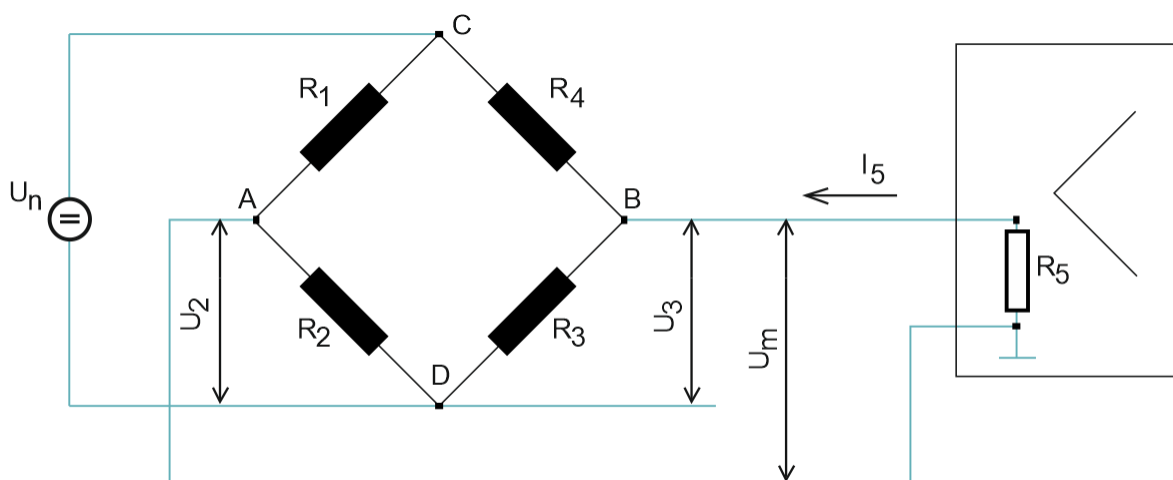


Obr. 1.4 Lepené tenzometry – základní typy dle osy měření [2].

Důležitým krokem v měření je připevnění tenzometru k měřenému objektu. Připevnění se dá provést navařením podložky s tenzometrem, mechanickým navinutím, upevněním pomocí keramických pojidel, difúzním napařováním a hlavně také lepením, které je nejrozšířenější.

Kvalita lepení závisí nejen na izolační podložce a kvalitě samotného tenzometru, ale také na použitém lepidle, proto je důležitá jeho správná volba. Používají se lepidla dvousložková nebo jednosložková vytvrzovaná za pokojové teploty, dále akrylátová nebo kyanoakrylátová s rychlou vytvrzovací schopností. Před nanášením lepidla je potřeba provést mechanické čištění povrchu, dále chemické čištění, nastavit správnou orientaci tenzometru a až poté nanést lepidlo. Následuje překrytí acetátovou fólií a vytlačení přebytečného lepidla. Nakonec dochází k letování kontaktů, uchycení vodičů a celkové překrytí proti poškození [2].

Jelikož je poměrná změna odporu $\frac{\Delta R}{R}$ při měření pružné deformace nebo přetvoření odporovými tenzometry velmi malá, využívá se zapojení tenzometrů do mostu. Nejčastěji se používá tzv. Wheastonův most, u kterého je výstupní napětí U_m závislé na poměrech odporů R_1 až R_4 a napájecího napětí U_n . Tento most je znázorněn na obrázku 1.5. Pokud budou poměry odporů pravého a levého děliče stejné, budou mít uzly A a B proti uzlům C a D stejné napětí, tzn., že most bude napěťově vyvážený.



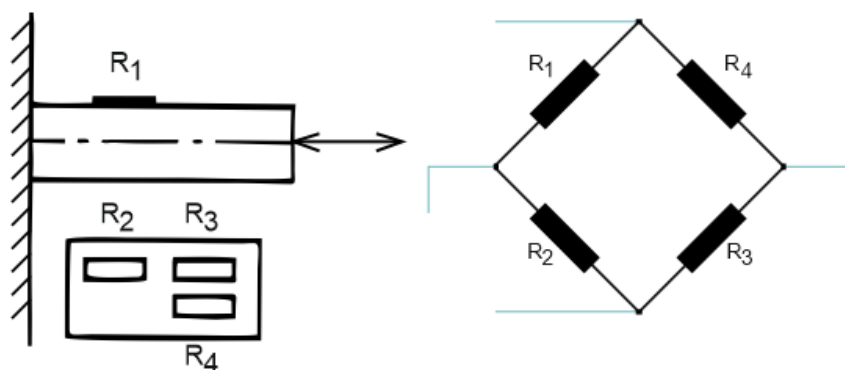
Obr. 1.5 Wheastonův most pro měření [2].

Základní vztah pro výpočet mostových zapojení (platí pro všechny elektronické měřicí aparatury) je znázorněn v rovnici 1.3. K této rovnici se dospělo za předpokladu nejjednoduššího případu, kdy vstupní odpor měřicího přístroje je nekonečný, a tím pádem proud I_5 , který teče do přístroje, je roven nule [2].

$$U_m = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U_n \text{ [V]} \quad (1.3)$$

Různým uspořádáním a orientací instalovaných tenzometrů zapojených do mostu lze měřit různé neelektrické veličiny. Několik příkladů je znázorněno v následujících odrážkách:

- Jeden snímač měřicí, tři kompenzační, celý most tah-tlak (obr. 1.6).



Obr. 1.6 Zapojení mostu pro měření tah-tlak, jeden měřicí, tři kompenzační [2].

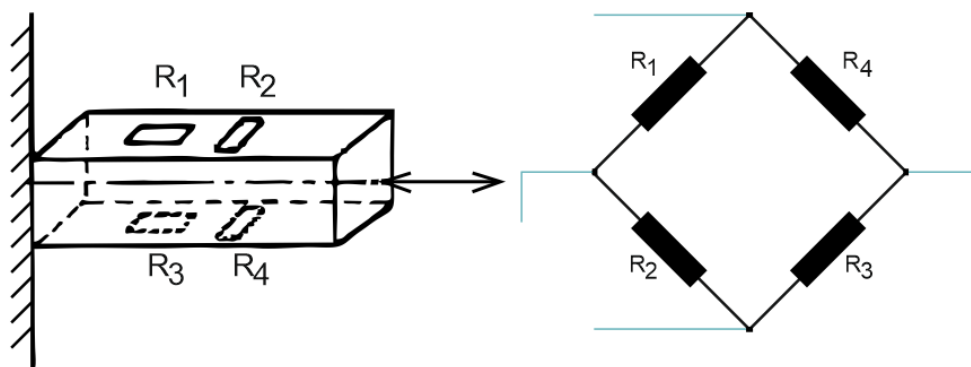
Kompenzační snímače slouží k eliminaci změny odporu ΔR_i vlivem teploty tělesa. Změna odporu vlivem teploty může být stejně velká jako změna od namáhání. Následující rovnice (1.4) vyjadřují hodnoty odporů jednotlivých tenzometrických snímačů.

$$\begin{aligned} R_1 &= R + \Delta R + \Delta R_t [\Omega] \\ R_2 &= R_3 = R_4 = R + \Delta R_t [\Omega] \end{aligned} \quad (1.4)$$

Po dosazení rovnic 1.4 do rovnice 1.3 vzniká konečný vztah 1.5, ve kterém se nevyskytuje vliv teploty, tudíž je kompenzován.

$$U_m \cong \frac{\Delta R}{4R} U_n [V] \quad (1.5)$$

- Čtyři tenzometry (všechny měřicí i kompenzační) – měřeno namáhání tah-tlak (obr. 1.7).



Obr. 1.7 Zapojení plného mostu pro měření tah-tlak, všechny snímače měřicí i kompenzační [2].

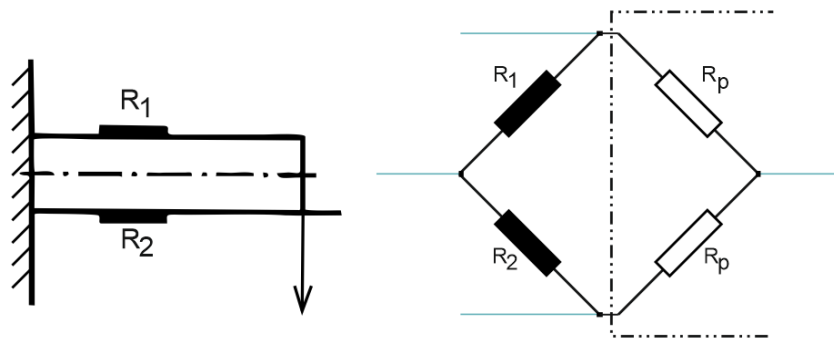
Používají se v tlakových a tahových siloměrech. Tímto zapojením se dosáhne maximální citlivosti mostu pro tah a tlak. Při působení tahové síly F_t vzniká nežádoucí ohybová síla F_0 , kterou je nutné kompenzovat. Rovnice 1.6 vyjadřují hodnoty jednotlivých odporů.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R + \Delta R_h + \Delta R_0 + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\
 R_2 &= R - \mu \cdot \Delta R_h + \Delta R \text{ } [\Omega] \\
 R_3 &= R + \Delta R_h - \Delta R_0 + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\
 R_4 &= R - \mu \cdot \Delta R_h + \Delta R_t \text{ } [\Omega]
 \end{aligned}
 \tag{1.6}$$

Po dosazení do rovnice 1.3 vzniká vztah 1.7, ve kterém se již ohybové členy nevyskytují.

$$U_m \cong \frac{1 + \mu}{2} \cdot \frac{\Delta R_h}{R} \cdot U_n \text{ } [V]
 \tag{1.7}$$

- Dva snímače zapojené do polovičního mostu – měření ohybu (obr. 1.8).



Obr. 1.8 Poloviční most pro měření ohybu [2].

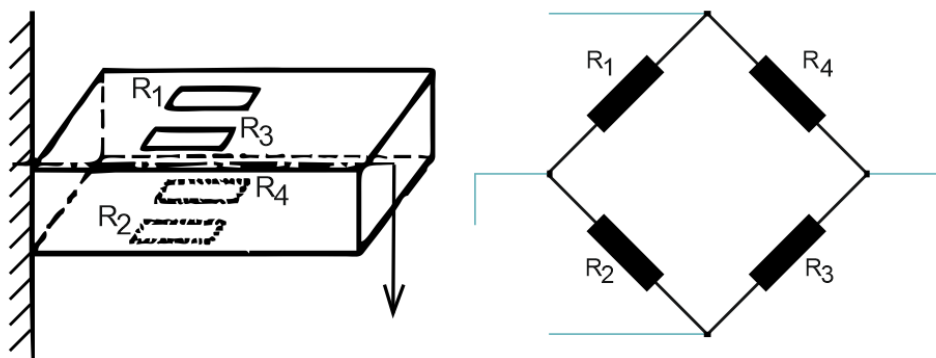
Charakteristické rovnice polovičního mostu jsou znázorněny v rovnicích 1.8.

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R + \Delta R + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\
 R_2 &= R - \Delta R + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\
 R_3 &= R_4 = R_p \text{ } [\Omega]
 \end{aligned}
 \tag{1.8}$$

Výsledný vztah po dosazení je znázorněn v rovnici 1.9. Měřící napětí se v tomto případě rovná dvojnásobku měřicího mostu s jedním měřicím snímačem.

$$U_m \cong \frac{U_n}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \text{ } [V]
 \tag{1.9}$$

- Čtyři snímače zapojené do plného mostu – měření ohybu (obr. 1.9).



Obr. 1.9 Plný most pro měření ohybového namáhání [2].

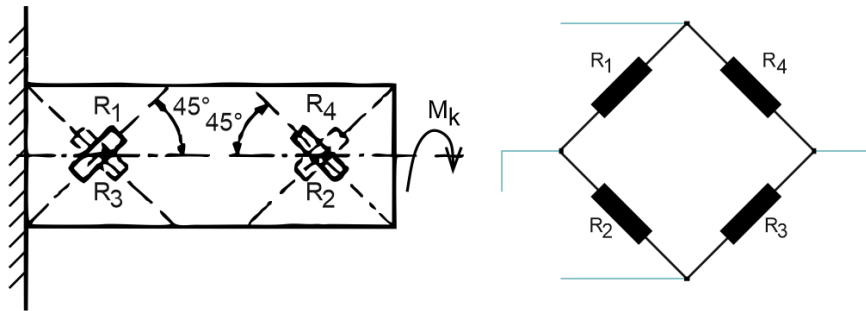
Charakteristické rovnice plného mostu pro ohybové namáhání jsou zahrnuty v rovnicích 1.10.

$$\begin{aligned} R_1 &= R_3 = R + \Delta R + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\ R_2 &= R_4 = R - \Delta R + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \end{aligned} \quad (1.10)$$

Dosazením do základní rovnice 1.3 vznikla rovnice 1.11. Všechny čtyři snímače tohoto zapojení jsou měřicí a zároveň kompenzační. Vylučuje se tahová složka namáhání. Výsledkem je čtyřnásobek měřicího napětí pro jeden snímač, což zároveň udává maximální citlivost mostu.

$$U_m \cong U_n \cdot \frac{\Delta R}{R} \text{ } [V] \quad (1.11)$$

- Čtyři snímače zapojené do plného mostu – měření krutu (obr. 1.10)



Obr. 1.10 Zapojení plného mostu pro namáhání krutem [2].

Je nutné přesné nalepení snímačů na těleso čidla (natočení 45° k neutrální ose) z důvodu přímé úměry poměrné deformace ke smykovému napětí. Tím pak dochází k eliminaci ohybové složky namáhání. Rovnice pro jednotlivé snímače jsou znázorněny v 1.12.

$$\begin{aligned} R_1 &= R_3 = R + \Delta R_k + \Delta R_0 + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \\ R_2 &= R_4 = R - \Delta R_k - \Delta R_0 + \Delta R_t \text{ } [\Omega] \end{aligned} \quad (1.12)$$

Dosazením do 1.3 je získána rovnice 1.13, ve které je dokonale eliminována ohybová složka. Zároveň je využita citlivost podobně jako u měření ohybového momentu.

$$U_m \cong U_n \cdot \frac{\Delta R_k}{R} \text{ } [V] \quad (1.13)$$

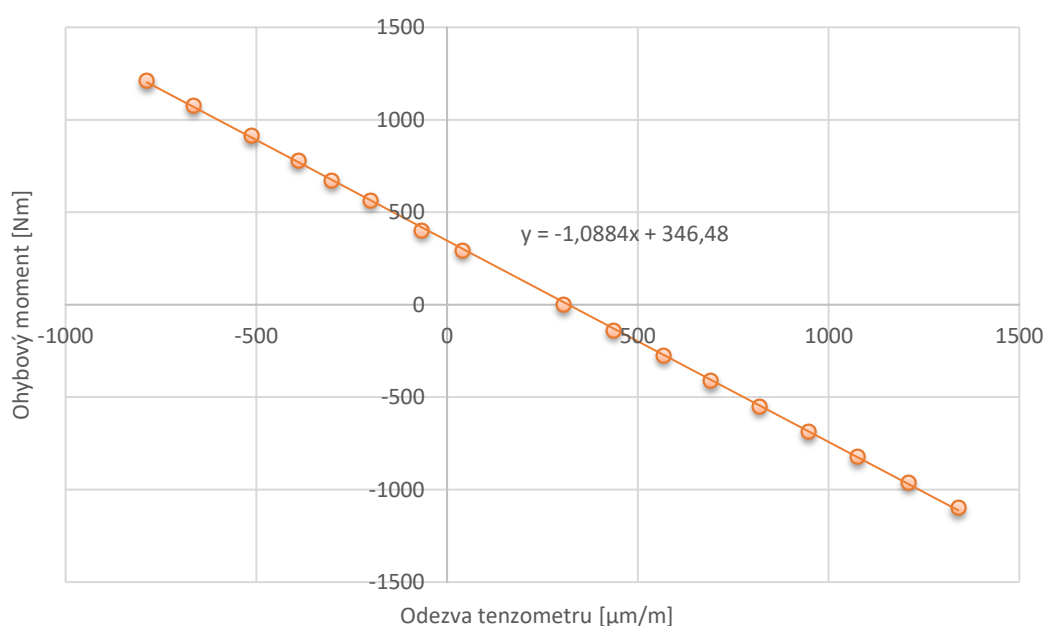
Z výše uvedeného plyne, že pro letové měření a stanovení ohybového momentu za letu je nejvhodnější použití tenzometrů, tj. pasivních odporových snímačů. Tenzometry vyžadují externí napájení, ale zároveň umožňují záznam naměřené veličiny (změny odporu, resp. přetvoření), což dává možnost následnému vyhodnocení a stanovení závěrů z měření. O napájení a záznam dat se stará měřicí ústředna popsána níže. Vzhledem k proměnlivé výšce při letovém měření dochází k neustálé změně teploty, kterou je nutno eliminovat. Toho je možné dosáhnout zapojením do plného mostu dle obr. 1.9, tedy využitím čtyř jednoosých tenzometrů. Snímače byly nalepeny v jednom řezu na části krakorce, těsně vedle kořenového žebra vnějšího křídla. Tento řez je ve vzdálenosti 1005 mm od podélné osy letounu a je zobrazen na obr. 1.11.

Byly použity tenzometry LY13-6/120 vyráběné firmou HBM a byly lepeny pomocí jednosložkového lepidla Z70 vyrobeného stejnou firmou na bázi kyanoakrylátu a vytvrzuje se za studena.

1.2.4. Kalibrace

Po instalaci tenzometrů a jejich zapojení do měřicí ústředny mohla být provedena kalibrace. Na křídlo byla aplikována známá síla ve směru nahoru a dolů ve vzdálenosti 2,743 m od řezu tenzometrů a vytvořený ohybový moment byl zaznamenáván spolu s odezvou tenzometrů. Z těchto záznamů byla vytvořena kalibrační křivka závislosti odezvy tenzometru na ohybovém momentu. Křivku znázorňuje graf 1.1. Nulová hodnota odezvy byla nastavena ve chvíli, kdy křídlo nebylo na letounu nainstalováno, tudíž nebylo ovlivněno vlastní vahou. V kalibrační rovnici je tedy zahrnuta vlastní hmotnost křídla. Lineárním proložením naměřených bodů byla získána kalibrační rovnice 1.14.

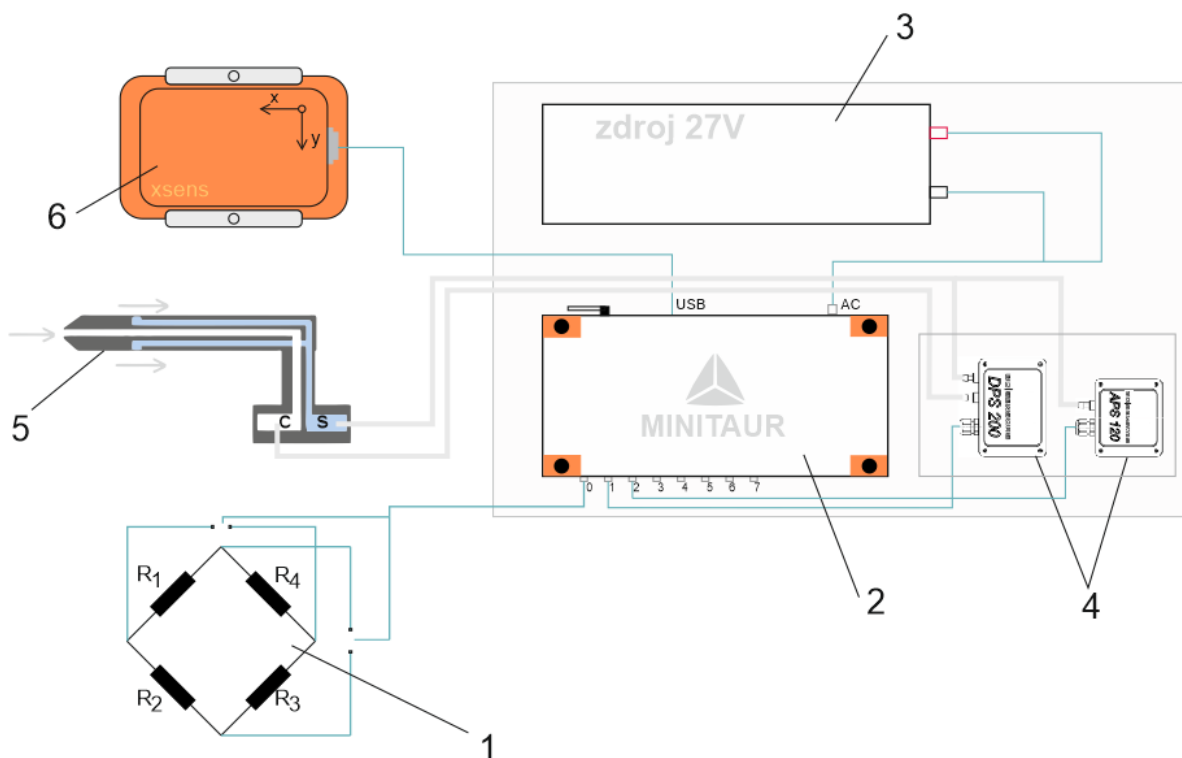
$$M_o = -1,0884 \cdot 'Odezva\ z\ tenzometru' + 346,48 \text{ [Nm]} \quad (1.14)$$



Graf 1.1 Kalibrační křivka ohybového momentu na křídle letounu.

1.3. Schéma měřicího systému

Pro sestavení měřicího systému je nutná znalost toho, která veličina má být měřena, jaký bude výstup měření a které další veličiny musí být měřeny pro celkové vyhodnocení. Dále je potřeba dbát na to, aby nebyla vytvořena hrubá chyba v měření (špatné zapojení, nefunkčnost dílčích měřidel ad.). Tato chyba by mohla způsobit nepoužitelnost výsledků a případnou nutnost opakovat měření. Eliminaci této chyby lze zamezit zkušenostmi obsluhy nebo testovacím měřením. Vytvořené schéma měřicího systému pro měření ohybového momentu je zobrazeno na obr. 1.12. Bod č. 1, tedy použitý tenzometrický most pro měření ohybového momentu na křídle, byl popsán v kapitole 1.2. V následujících odrážkách jsou popsány další body schématu.



Obr. 1.12 Schéma měřicího systému.

• Měřicí ústředna a její napájení

K záznamu dat byla použita ústředna od firmy Dewetron, konkrétně Minitaur 101 (na obr. 1.12 bod č. 2), a byla napájena externí baterií (bod č. 3). Tato ústředna má k dispozici celkem 8 analogových vstupů, dále 8 čítačových/digitálních vstupů a 2 CAN vstupy. Dále umožňuje připojení GPS antény a displeje, může napájet další zařízení, má 4 USB sloty, a mezi další konektory patří VGA, SYNC, EPAD a LAN. Mimo jiné ústředna umožňuje připojení WI-FI antény, díky které je možnost se bezdrátově připojit do operačního systému ústředny z jiného zařízení. Ústředna pracuje na systému Windows XP a pro sběr dat využívá software DeweSoft, který je dodán spolu s ústřednou [4].

Zapojení jednotlivých kanálů a jejich přesné nastavení je uvedeno v příloze A.

• Snímání tlaku

Pro vyhodnocení letových dat je nutná znalost tlaku vzduchu okolí a tlaku celkového – jsou získány z pitot-statického systému (bod č. 5), který je umístěn na letounu (obvykle na křídle nebo před trupem, aby docházelo k co nejmenšímu ovlivnění vlivem proudu vzduchu) a dále jsou pomocí tlakoměrů (bod č. 4) vyhodnocovány. Z hodnot naměřených tlaků je poté dopočítána indikovaná rychlost letounu a aktuální výška viz kapitola 3.2.

Pro snímání rozdílu celkového a statického tlaku byl použit snímač DPS 200 od firmy BD-Sensors, jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 1.1.

Rozsah diferenčního tlaku	0-6000 Pa
Maximální přetížení	34500 Pa
Přesnost	<±1 % FSO
Chyba vlivem teploty	0,3 % FSO / 10 K pro jmenovité tlaky > 500 Pa

Kompenzované pásmo teplot	0-50 °C
Napájení	0 ... 10 V
Rychlost měření	1kHz
Odolnost proti zkratu	trvalá
Odolnost proti přepólování	při přepólování bez poškození, ale bez funkce
Hmotnost	cca 165 g

Tab. 1.1 Parametry diferenčního snímače tlaku DPS 200 od firmy BD-Sensors [5].

Statický tlak byl snímán pomocí absolutního snímače tlaku firmy BD-Sensors APS 120 jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 1.2.

Rozsah celkového tlaku	80-120 kPa
Přesnost	<±1 % FSO
Chyba vlivem teploty	0,3 % FSO / 10 K pro jmenovité tlaky > 500 Pa
Kompenzované pásmo teplot	0-50 °C
Napájení	0 ... 10 V
Rychlost měření	1kHz
Odolnost proti zkratu	trvalá
Odolnost proti přepólování	při přepólování bez poškození, ale bez funkce
Hmotnost	cca 115 g

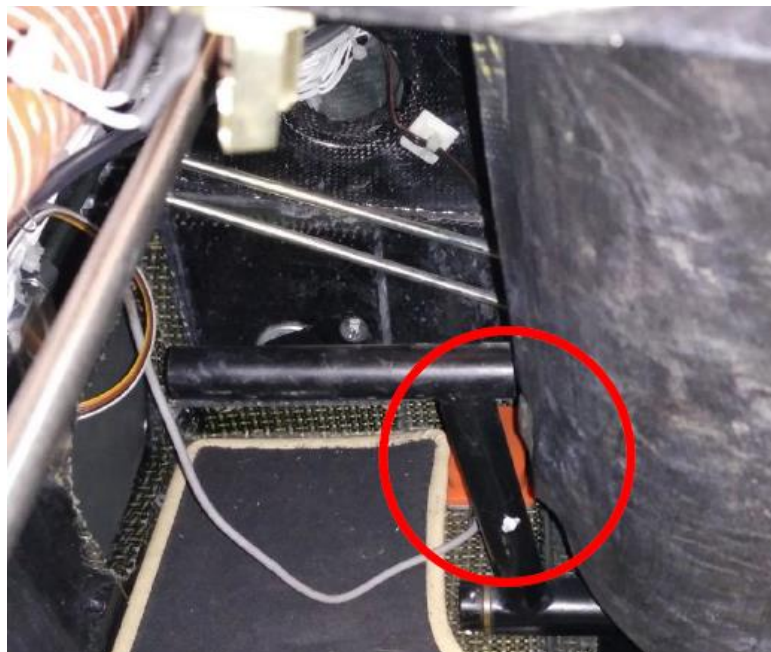
Tab. 1.2 Parametry absolutního snímače tlaku APS 120 od firmy BD-Sensors [5].

- **Snímání polohy letounu**

Pro snímání polohy a zároveň zrychlení letounu byl použit senzor Xsens MTi (bod č. 6) opatřený integrovanými gyroskopy, akcelerometry a magnetometry v trojrozměrném prostoru. Další parametry senzoru jsou uvedeny v tab. 1.3. Pro provedené letové měření má největší význam záznam zrychlení v ose z pro zjištění násobku v manévru. Senzor byl umístěn více vlevo od osy letounu vzhledem ke středovému kanálu letounu v místě za levým pedálem, viz obr. 1.13.

Rychlost měření	1,2 kHz
Napájení	4,5 - 30 V
Spotřeba energie	350 mW
Pásmo pracovních teplot	40–85 °C
Statická přesnost (klonění/klopení)	< 0,5 deg
Statická přesnost (zatačení)	< 1 deg
Dynamická přesnost	2 deg RMS
Přesnost časování	10 ppm
Úhlové rozlišení	0,05 deg
Rozměry	58 x 58 x 22 mm
Hmotnost	58 g

Tab. 1.3 Parametry senzoru Xsens MTi [6].



Obr. 1.13 Umístění senzoru Xsens MTi.

Pro letové měření byl použit ultralehký letoun Stream od firmy TL-Ultralight. Charakteristiky a popis letounu jsou uvedeny v kapitole 2.

Ústředna, baterie a tlakoměr byly připevněny na desku a ta byla umístěna na pozici zadního pilota letounu, viz obr. 1.14. Jednoduché upevnění desky pomocí pásů bylo provedeno z důvodu nutnosti využití letounu pro další měření a tím vzniklé časové tísně. Nebyla tedy umožněna pevnější zástavba ústředny a dalších komponentů, jak by tomu mělo správně být.



Obr. 1.14 Umístění měřicího zařízení.

2. Základní charakteristiky letounu

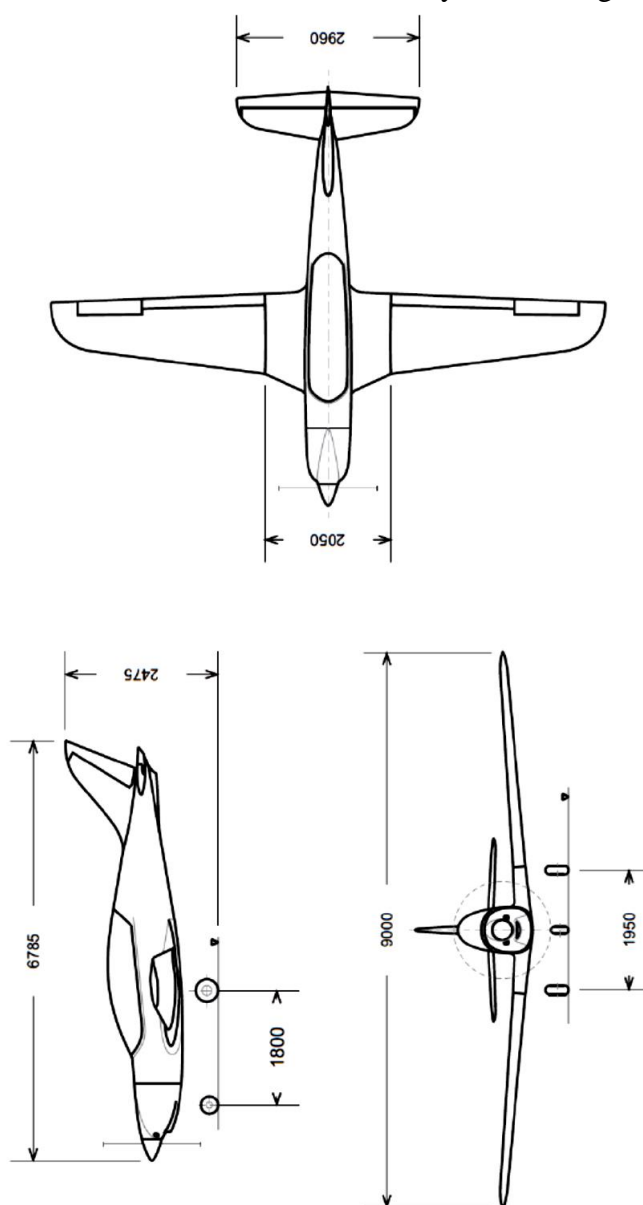
Experiment byl realizován na letounu Stream vyrobený firmou TL-Ultralight. Jedná se o dvoumístný dolnoplošný ultralehký letoun s tandemovým uspořádáním posádky. Jeho základní specifikace je zobrazena v tabulce 2.1 získaná z webové prezentace výrobce, dále na obr. 2.1 je fotografie letounu a celkovou dispozici zobrazuje obrázek 2.2.

Rozměry	
Délka	6,88 m
Rozpětí křídel	9,00 m
Výška	2,48 m
Plocha křídla	9,962 m ²
Hmotnost	
Prázdná hmotnost	297 kg
Maximální vzletová hmotnost	472,5 kg
Maximální hmotnost posádky	180 kg
Minimální hmotnost posádky	60 kg
Maximální hmotnost zavazadel	25 kg
Letové údaje	
Dolet	1700 km
Cestovní rychlost	300 km/h
Nepřekročitelná rychlost	335 km/h
Pohon	
Motor	Rotax 912 ULS, Max. výkon: 73,5 kW, Max RPM: 5800
Vrtule	PowerMax, třílistá, průměr: 1748 mm,

Tab. 2.1 Základní charakteristika letounu Stream [7].



Obr. 2.1 Letoun Stream od firmy TL-Ultralight [8].



Obr. 2.2 Celková dispozice letounu Stream [8].

3. Vyhodnocení naměřených dat

V této kapitole je podrobně popsána problematika vyhodnocení naměřených dat z letového měření. Výstupem vyhodnocení jsou experimentálně stanovené hodnoty zatížení a údaje manévru určené pro výpočet zatížení na křídle a jejich následné porovnání.

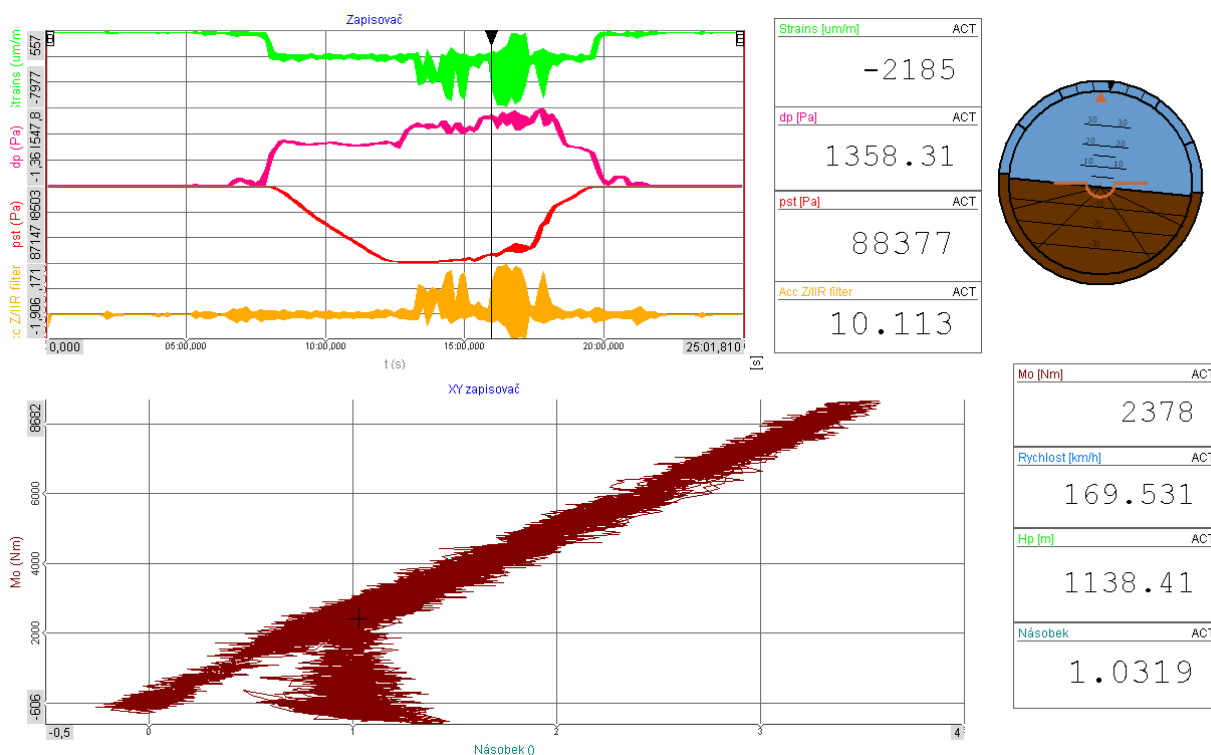
Celkem byly realizovány dva lety v průběhu dvou dnů s různými hmotnostními konfiguracemi, viz tab. 3.1. Pro dosažení požadovaného násobku byly jako manévry zvoleny ostré horizontální zatáčky. Měnil se dosažený násobek manévru a vstupní rychlost. Mezi manévry byl přidán v obou letech i manévru s násobkem 0G při přechodu do klesání v horizontálním letu.

Datum	m_{row}	$\overline{x_T}$
	[kg]	[%]
27. 6. 2017	530	16,2
28. 6. 2017	572	24,2

Tab. 3.1 Hmotnostní konfigurace letounu pro jednotlivé lety (hodnoty před letem).

3.1. Data v softwaru DeweSoft

Protože byla k měření použita ústředna firmy Dewetron, byla data z letového měření zapisována do softwaru DeweSoft, v němž byly před měřením nakonfigurovány měřicí kanály a připraveno prostředí záznamu. Software začal zaznamenávat ve chvíli, kdy letoun započal pojíždění od hangáru a byl ukončen po návratu letounu a vypnutí motoru. Kompletní naměřený záznam se vzletovou hmotností 530 kg provedený dne 27. června 2017 je zobrazen v obrázku 3.1. Záznam z druhého dne měření vypadá prakticky totožně, liší se pouze hodnotami, a proto nebude uveden.



Obr. 3.1 Naměřená data z letového měření s hmotností letounu 530 kg v programu DeweSoft.

3.1.1. Naměřené veličiny

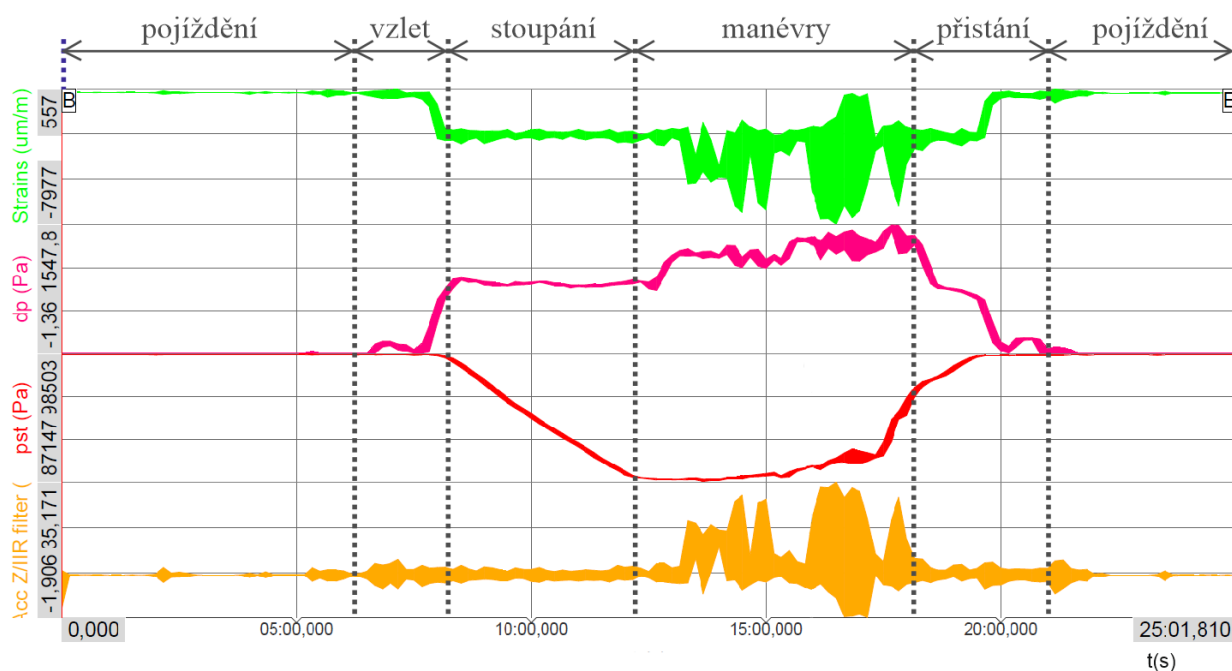
V levé horní části obrázku 3.1 je zapisovací část obsahující záznam jednotlivých kanálů. Konkrétně zelená křivka zobrazuje odezvu tenzometrů (tzv. strains), růžová změnu tlaku, červená tlak celkový a oranžová zrychlení v ose z. Vpravo od zapisovače jsou zobrazeny konkrétní hodnoty v daném časovém okamžiku dle polohy ukazatele.

Vpravo nahoře je vyobrazen digitální umělý horizont využívající data (klonění a klopení) ze senzoru Xsens MTi pro určení charakteru manévru (pravotočivá nebo levotočivá zatáčka, ad.).

Graf vlevo dole ukazuje závislost již matematicky zpracovaných hodnot (více k výpočtu viz kap. 3.1.3), a to konkrétně ohybového momentu na násobku. Vpravo dole jsou hodnoty ohybového momentu, rychlosti, výšky a násobku v daném časovém okamžiku dle polohy ukazatele.

3.1.2. Rozdělení naměřených hodnot

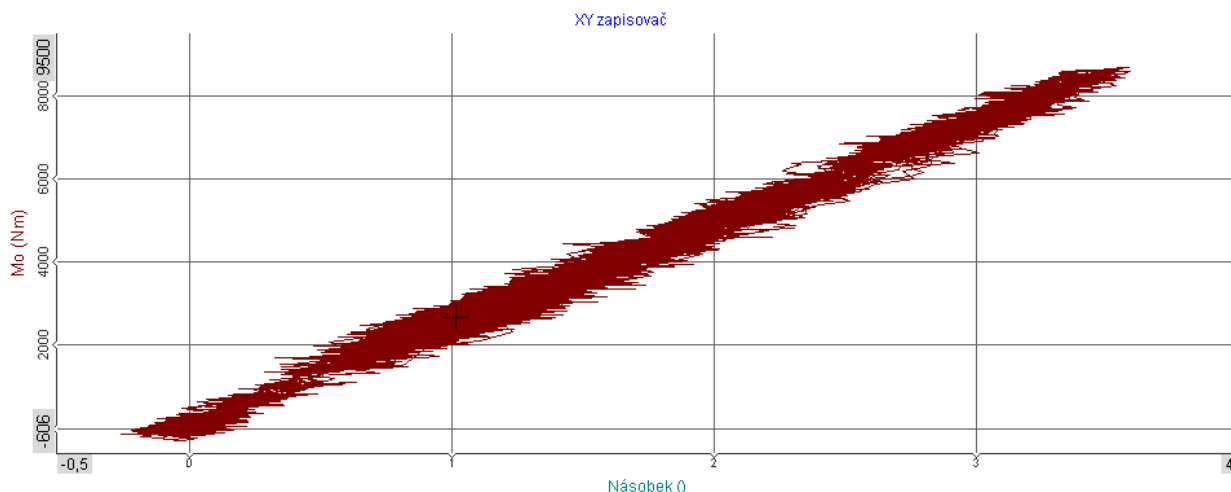
Kompletní záznam naměřených dat se dá rozdělit do několika částí. Toto rozdělení je znázorněno na obr. 3.2. Nejdůležitější částí, kterou se zabývá následné vyhodnocení, jsou manévry.



Obr. 3.2 Rozdělený záznam naměřených dat.

V grafu závislosti ohybového momentu na násobku (obr. 3.1) je možno vidět jistou nežádoucí část u násobku 1. Tyto hodnoty jsou způsobeny chvěním křídel při pojíždění letounu po dráze a nejsou při dalším vyhodnocení používány stejně jako data ze vzletu, přistání a stoupání.

Je-li vykreslen graf závislosti ohybového momentu na násobku pouze v oblasti manévrů, vznikne křivka zobrazená na obrázku 3.3. Tato křivka jasně ukazuje lineární závislost ohybového momentu na násobku v rozsahu přetížení 0G až 3,5G.



Obr. 3.3 Graf závislosti ohybového momentu na násobku v době manévru.

3.1.3. Vypočítané hodnoty

Program DeweSoft umožňuje s naměřenými hodnotami dále matematicky pracovat, je tedy možné dopočítat a vykreslit různé další veličiny. Konkrétně byl dopočítán ohybový moment dle rovnice 3.1, která se od rovnice 1.14 liší nepoužitím posunutí přímky v ose y vzhledem k eliminaci vlastní hmotnosti křídla.

$$Mo = -1,0884 \cdot 'Odezva\ z\ tenzometru' [Nm] \quad (3.1)$$

Násobek byl dopočítán ze zrychlení v ose z dle rovnice 3.2.

$$n = \frac{Acc\ Z}{g} [-] \quad (3.2)$$

kde:

Acc Z – naměřené zrychlení ze senzoru Xsens MTi [m/s²]

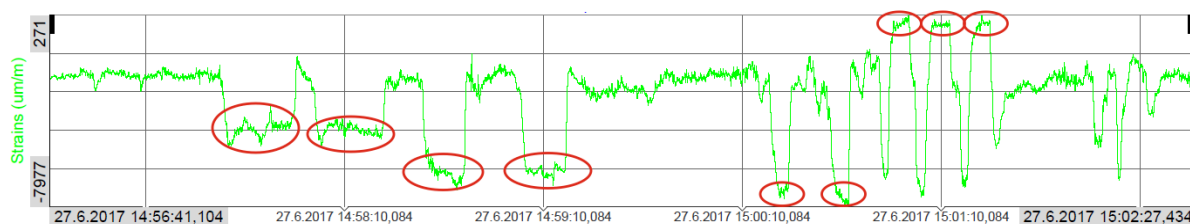
g – tíhové zrychlení [m/s²] (9,80665 m/s²)

3.2. Způsob statistického vyhodnocení naměřených dat

Kapitola pojednává obecně o způsobu vyhodnocení konkrétního manévru. Analogicky však bylo nutno vyhodnotit veškeré vybrané manévry z obou letů. Výsledky vyhodnocení jsou zobrazeny v kapitole 3.3.

3.2.1. Násobek, odezvy tenzometrů a ohybový moment

Je-li vykreslena závislost odezvy tenzometru na čase pouze v oblasti manévru, je možno pozorovat nárůst / pokles odezvy v určitém časovém intervalu. Tato změna odezvy vyznačuje manévr. Jak již bylo zmíněno, pilot prováděl jako manévry ustálené horizontální zatáčky při různé vstupní rychlosti a dosaženého násobku, dále manévr klesání s nulovým násobkem. Cílem vyhodnocení je následně vyseparovat část manévru, ve kterém byly odezvy tenzometrů, rychlost a násobek co nejvíce konstantní v alespoň krátkém časovém intervalu. Závislost odezvy tenzometrů na čase s vyznačenými manévry (červeně) je zobrazena na obr. 3.4. Graf závislosti ohybového momentu na čase by vypadal totožně. Pro ukázkou byly vybrány odezvy z tenzometrů.



Obr. 3.4 Závislost odezvy tenzometrů na čase s vyznačenými manévry.

Vzhledem k vysoké vzorkovací frekvenci záznamu postačí při separaci konstantní úsek o délce 2-4 vteřin, delší konstantní úsek je výhodou. Například u prvního manévru je nejvíce ustálená poslední třetina, z níž je následně vybrán úsek se stálou hodnotou odezvy tenzometrů o délce 5 vteřin.

Takto vyseparovaný úsek je exportován z programu DeweSoft do formátu .txt, který se následně dá importovat do tabulkového editoru (např. Microsoft Excel). Data jsou poté numericky vyhodnocena pomocí aritmetického průměru. Výsledkem jsou průměrné hodnoty násobků a ohybového momentu. Byla také zjištěna pravděpodobná chyba výsledku, která je uvedena v tabulce 3.3 u hodnot ohybového momentu.

3.2.2. Rychlost a výška

Spolu s násobkem a ohybovým momentem jsou exportovány také vypočítané hodnoty výška a rychlost letounu, které jsou získány z rovnic 3.3 a 3.4.

$$v_{IAS} = \sqrt{\frac{2(p_c - p_{st})}{\rho_0}} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3.3)$$

kde:

- p_c – celkový tlak [Pa]
- p_{st} – statický tlak [Pa]
- ρ_0 – hustota vzduchu v 0 m MSA (1,225 kg/m³)

$$p_{st} = p_0 \left(1 - \frac{0,0065}{T_0} h \right)^{5,256} [Pa] \quad (3.4)$$

kde:

- p_{st} – statický tlak [Pa]
- p_0 – tlak v 0 m MSA [Pa] (101 325 Pa)
- T_0 – teplota v 0 m MSA [K] (288,15 K)
- h – výška [m] (hledaná hodnota)

Pro výpočet zatížení je nutné znát aktuální hustotu vzduchu v době prováděného manévru, která je získána ze stavové rovnice. Tato hustota je spočítána dle rovnice 3.5 [9].

$$\rho_{vz} = \frac{p_{st} M}{R T_{vz}} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.5)$$

kde:

- p_{st} – statický tlak [Pa]
- M – molární hmotnost plynu [kg/kmol] ($M=0,02896$ kg/kmol)
- R – plynová konstanta [J.mol⁻¹.kg⁻¹] ($R=8,314$ J/mol/kg)
- T_{vz} – teplota vzduchu v daném manévru [K]

Vzhledem k problémům, které vznikly při měření celkového tlaku, se projevila chyba měření i v tlakovém rozdílu a ve výsledné indikované rychlosti. Proto bylo nutné provést synchronizaci dat měřených ústřednou Miniatur se záznamem dat palubního přístroje Garmin G3X. Frekvence záznamu palubních systémů má standardně hodnotu 1 Hz. Z této synchronizace poté vyšla správná indikovaná rychlost letounu v době manévru.

3.2.3. Hmotnosti a centráže

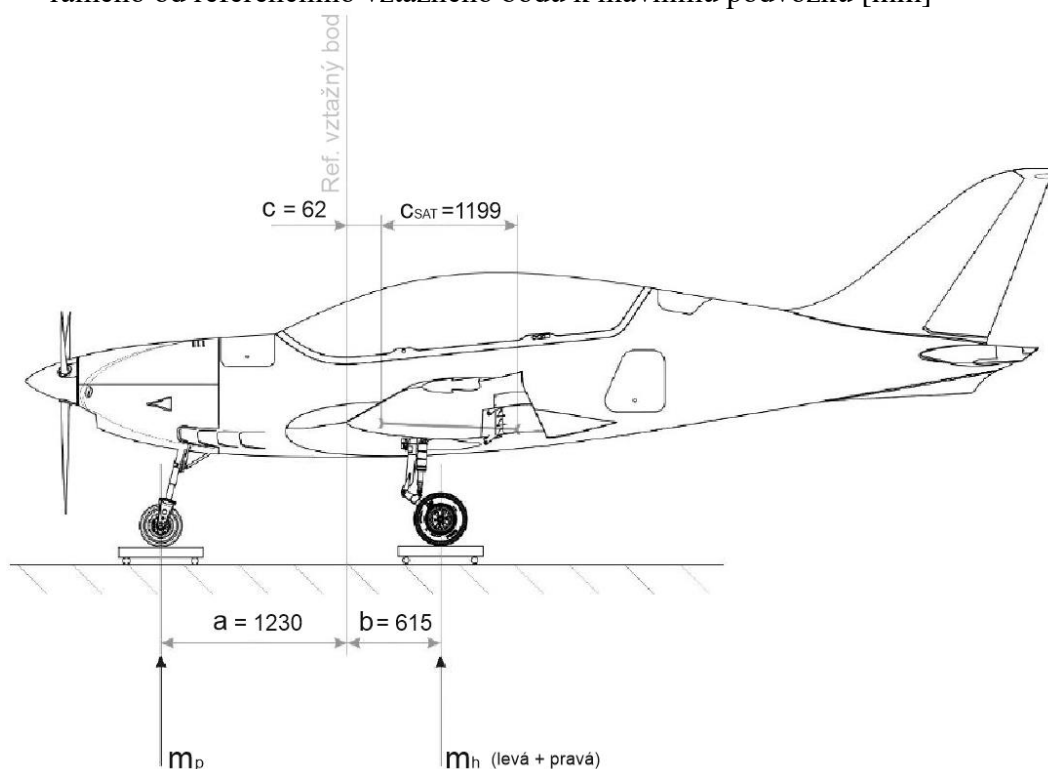
Protože byla známa hmotnost letounu a rozložení hmotnosti na podvozku před letem i po letu, mohla být dopočítána aktuální hmotnost a centráž vzhledem k úbytku paliva pro jednotlivé manévry. Úbytek byl z důvodu zjednodušení výpočtu uvažován lineárně.

Poloha těžiště je spočítána dle rovnice 3.6, do které vstupují hodnoty polohy podvozku znázorněné na obr. 3.5 [8].

$$x_{T0} = \frac{m_h b - m_p a}{m_h + m_p} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

kde:

- m_h – hmotnost na hlavním podvozku [kg]
- m_p – hmotnost na příďovém podvozku [kg]
- a – rameno od referenčního vztažného bodu k příďovému podvozku [mm]
- b – rameno od referenčního vztažného bodu k hlavnímu podvozku [mm]



Obr. 3.5 Poloha podvozku a střední aerodynamické tětiny vzhledem k referenčnímu vztažnému bodu na letounu Stream [8].

Poloha těžiště vzhledem ke střední aerodynamické tětině, tzv. centráž, je spočítána podle rovnice 3.7.

$$\bar{x}_T = \frac{x_{T0} - c}{c_{SAT}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.7)$$

kde:

- x_{T0} – poloha těžiště vzhledem k referenčnímu vztažnému bodu [m]
 c – vzdálenost počátku střední aerodynamické tělivy od ref. vztažného bodu [m]
 c_{SAT} – velikost střední aerodynamické tělivy [m]

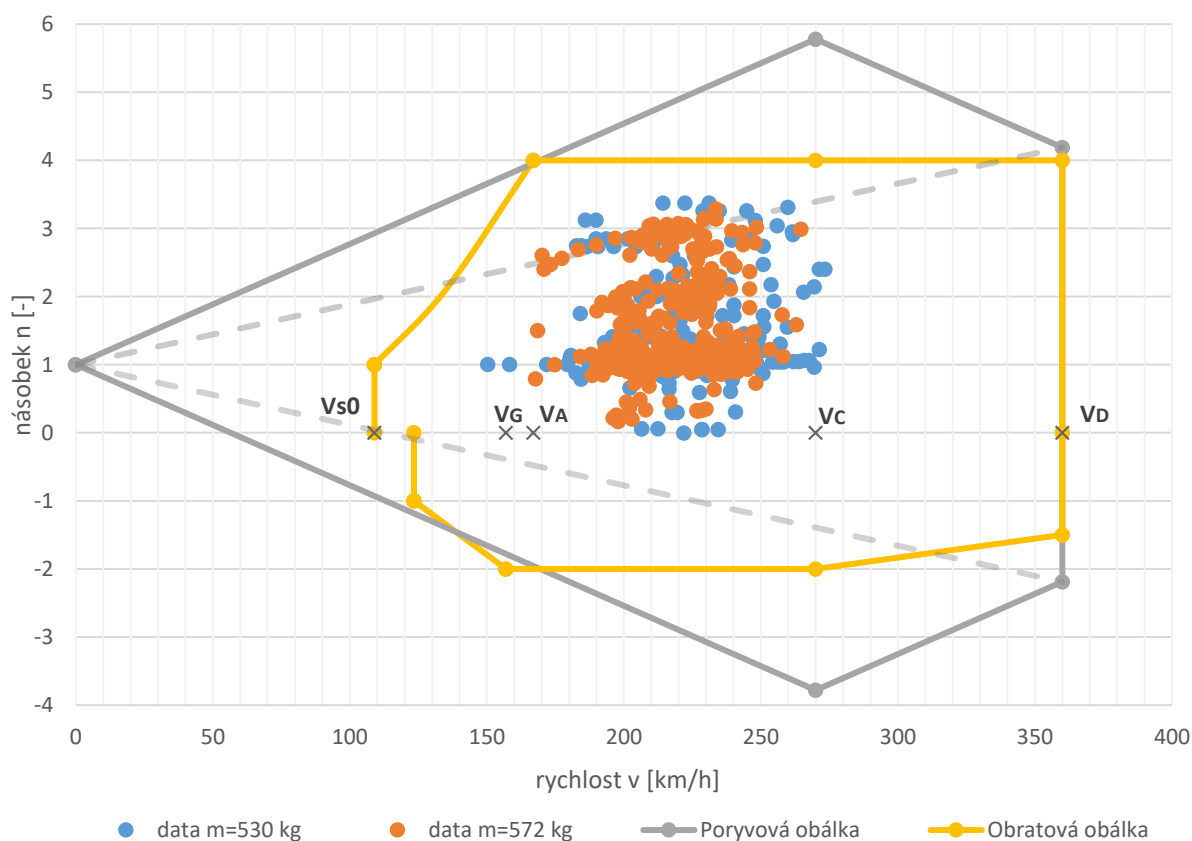
Hodnoty hmotností hlavního a příďového podvozku před zahájením letu a po jeho ukončení jsou uvedeny v tabulce 3.2.

	před letem		po letu	
datum	27.6.	28.6.	27.6.	28.6.
m_h [kg]	427	492	424	489
m_p [kg]	103	80	102	79

Tab. 3.2 Naměřené hmotnosti letounu pro výpočet centráže před a po letu.

3.2.4. Vykreslení dat v letové obálce zatížení

Pro interpretaci naměřených hodnot byla data zobrazena v letové obálce zatížení letounu. V grafu 3.1 je vyobrazena obratová a poryvová obálka, v nichž jsou vykreslena data z měření v jednotlivých hmotnostních konfiguracích v době provádění manévrů. Data byla vykreslena z palubního počítače Garmin G3X vzhledem k již zmíněným problémům v měření tlaku, a to pouze v oblasti prováděných manévrů s vzorkovací frekvencí 1 Hz. Tato oblast má v obou hmotnostních konfiguracích rozsah násobku od 0G do 3,5G a rychlosti od 150 km/h do 270 km/h.



Graf 3.1 Letová obálka zatížení s naměřenými hodnotami v době manévrů.

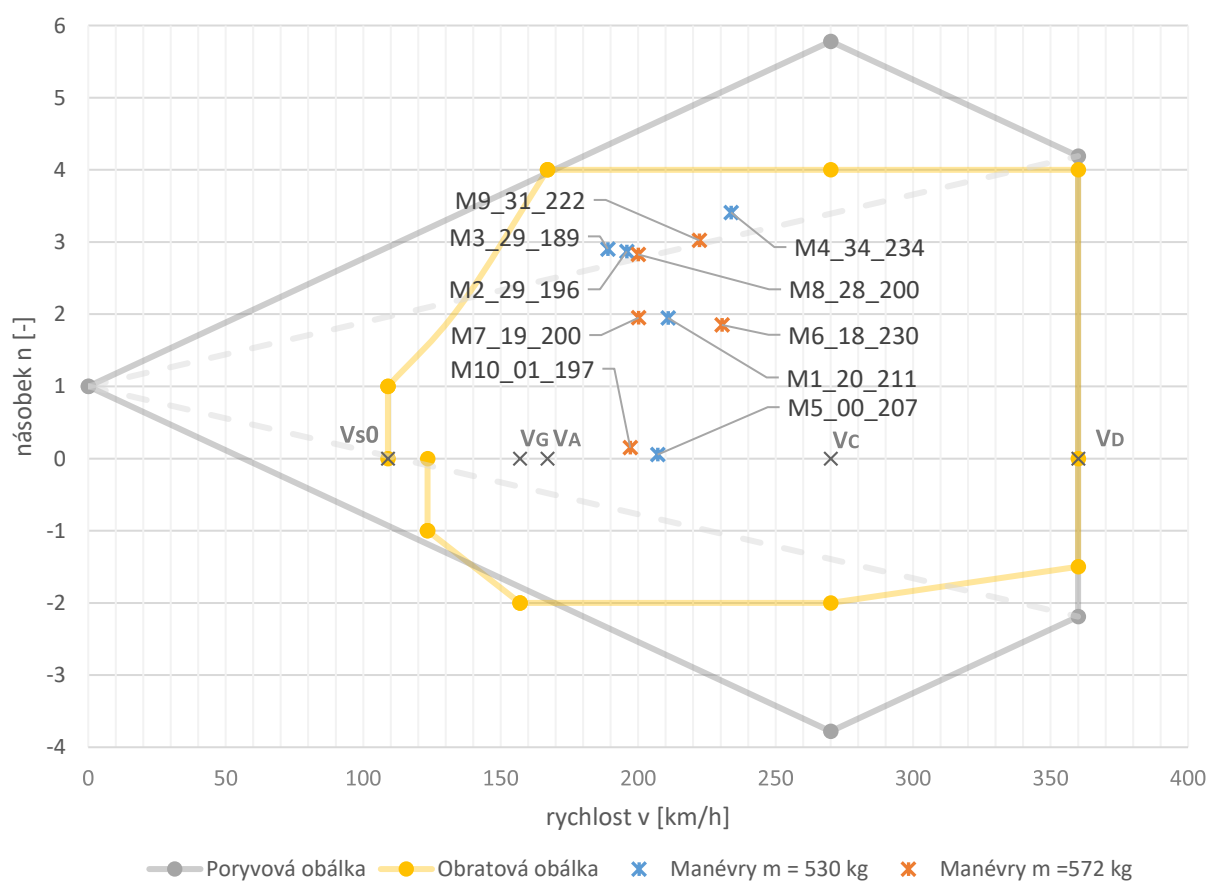
3.3. Výsledky měření

Z důvodu požadované odlišnosti manévru byly z letového záznamu vybírány manévry s různou vstupní rychlostí a dosaženým násobkem. Z každého letu s různými hmotnostními konfiguracemi bylo vybráno celkem 5 manévru a z toho v každém letu byl jeden manévr s násobkem blízkým 0G. Tabulka 3.3 zobrazuje všechny vyhodnocené manévry s údaji potřebnými pro následný teoretický výpočet zatížení.

označení manévru	čas zahájení	dobu trvání	hmotnost [kg]	násobek [-]	ohybový moment [Nm]	rychlost [km/h]	centráž [%]	hustota [kg/m ³]
M1_20_211	14:57:48	0:00:05	528,4	1,947	4871 ± 1,3 %	210,9	16,251	1,052
M2_29_201	14:58:39	0:00:03	528,2	2,870	7080 ± 0,7 %	201,1	16,258	1,052
M3_29_198	14:59:10	0:00:03	528,1	2,903	7204 ± 0,7 %	197,9	16,263	1,055
M4_34_240	15:00:40	0:00:02	527,7	3,410	8423 ± 0,6 %	239,8	16,276	1,071
M5_00_217	15:01:09	0:00:03	527,6	0,054	176 ± 20,1 %	216,7	16,280	1,066
M6_18_230	10:27:13	0:00:03	569,9	1,851	4934 ± 1,1 %	230,4	24,290	1,035
M7_19_201	10:27:49	0:00:06	569,7	1,951	5309 ± 2,4 %	200,1	24,297	1,031
M8_28_200	10:28:27	0:00:03	569,5	2,828	7492 ± 1,2 %	200,5	24,305	1,034
M9_31_222	10:30:58	0:00:02	568,9	3,023	8041 ± 0,2 %	222,2	24,335	1,059
M10_01_197	10:29:56	0:00:02	569,1	0,151	537 ± 7,1 %	197,1	24,323	1,043

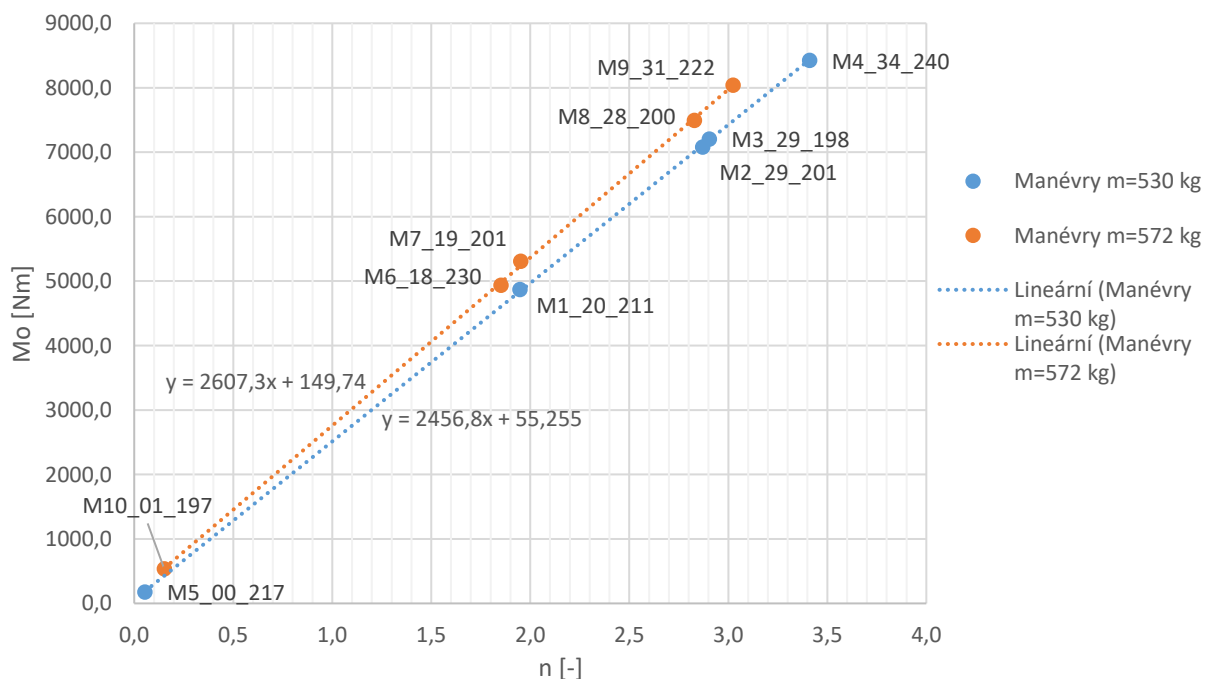
Tab 3.3 Vyhodnocené naměřené manévry.

Manévry jsou značeny dle pořadí v čase, dosaženého násobku a rychlosti. Pro názornější ukázkou dat byly manévry zobrazeny v letové obálce zatížení viz graf 3.2.



Graf 3.2 Letová obálka zatížení s vyznačenými vyseparovanými manévry.

Protože je práce zaměřena na stanovení zatížení za letu, nejdůležitějším výsledkem jsou hodnoty naměřeného a vyhodnoceného ohybového momentu v daných manévrech (tab. 3.3). Tyto hodnoty jsou dále vykresleny v grafu 3.3 v závislosti na násobku zatížení.



Graf 3.3 Naměřené hodnoty ohybového momentu v závislosti na násobku v jednotlivých manévrech.

Hodnoty v grafu 3.3 vykazují lineární závislost pro dané hmotnostní konfigurace. Aby však mohl být stanovený závěr a mohly být posouzeny výsledky, je nutné provést porovnání. Výsledky se dají porovnat buď s jiným měřením, které je dostatečně relevantní s teoretickým výpočtem zatížení, nebo také s daty z lamičké zkoušky křídla. Následující kapitoly se zabývají výpočtem zatížení křídla a následným porovnáním vypočtených a naměřených hodnot.

4. Výpočet zatížení křídla

Výpočet zatížení na konstrukci letounu se používá obvykle v počátcích návrhu, kdy pro dané letové případy jsou vypočítány hodnoty zatížení a následně se ověřuje pevnost konstrukce. V této práci je charakter výpočtu odlišný. Vstupními hodnotami do výpočtu nejsou kritické body v obálce zatížení, ale naměřené a vyhodnocené manévry z letového měření při použití analogického postupu výpočtu. Výpočet zanedbává vliv vzepětí křídla, vliv šípu, vliv úhlu náběhu (tečných složek) a vliv výchylky křidélek. Naopak je zahrnut vliv vyvažovacího zatížení od vodorovných ocasních ploch a vliv trupu na změnu vztlaku na křídle.

4.1. Aerodynamické, geometrické a hmotnostní vstupy do výpočtu

4.1.1. Geometrické a hmotnostní vstupy

Základní geometrické a hmotnostní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 4.1. Křídlo má lichoběžníkový tvar a obsahuje jedno lomení ve spojení vnější části s centroplánem. Přesná geometrie křídla je zobrazena na obr. 1.14. Hmotnost křídla ve výpočtu se uvažuje od místa tenzometru po konec křídla.

Plocha křídla	$S =$	9,96 m ²
Plocha křídla zakrytá trupem	$S_1 =$	1,259 m ²
Rozpětí křídla	$l =$	9,0 m
Zúžení křídla	$\eta =$	2,290
Štíhlost křídla	$\lambda =$	8,131
Šíp křídla	$\chi =$	8,608
Efektivní štíhlost křídla	$\lambda_E =$	7,155
Hloubka kořene křídla	$c_0 =$	1,61 m
Střední aerodynamická těživa	$c_{sat} =$	1,199 m
Aerodynamický střed křídla	$\bar{x}_{AK} =$	0,25
Šířka trupu v místě křídla	$B_{TR} =$	0,8 m
Délka přídě k A.S. křídla	$l_f =$	2,08 m
Délka trupu	$L_{tr} =$	6,21 m
Hmotnost křídla	$m_{kř} =$	24,1 kg

Tab. 4.1 Geometrické a hmotnostní charakteristiky letounu Stream [10].

4.1.2. Aerodynamické vstupy

Tabulka 4.2 zobrazuje aerodynamické charakteristiky křídla. Použitý profil je stejný po rozpětí. Všechny hodnoty jsou uvažovány pro let. Hodnoty pro vzlet a přistání není nutno uvádět. Kroucení je pouze vnější část křídla.

Profil křídla	JDC 15	
Sklon vztlakové čáry profilu	$a_0 =$	5,131 1/rad
Součinitel vztlaku profilu	$C_{Lp} =$	1,568
Úhel nulového vztlaku	$\alpha_0 =$	-1,808 °
Úhel zkroucení konce křídla	$\alpha_z =$	-2,200 °
Sklon vztlakové čáry křídla	$a_{kr} =$	4,25 1/rad
Součinitel klopivého momentu křídla	$C_{m0kř} =$	-0,048

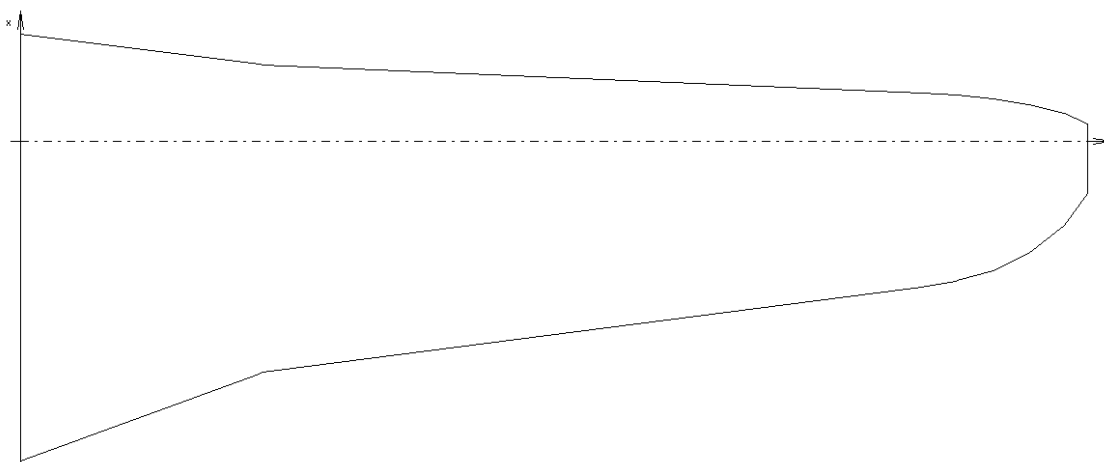
Tab. 4.2 Aerodynamické charakteristiky profilu a křídla letounu Stream [10].

4.2. Rozložení vztlaku

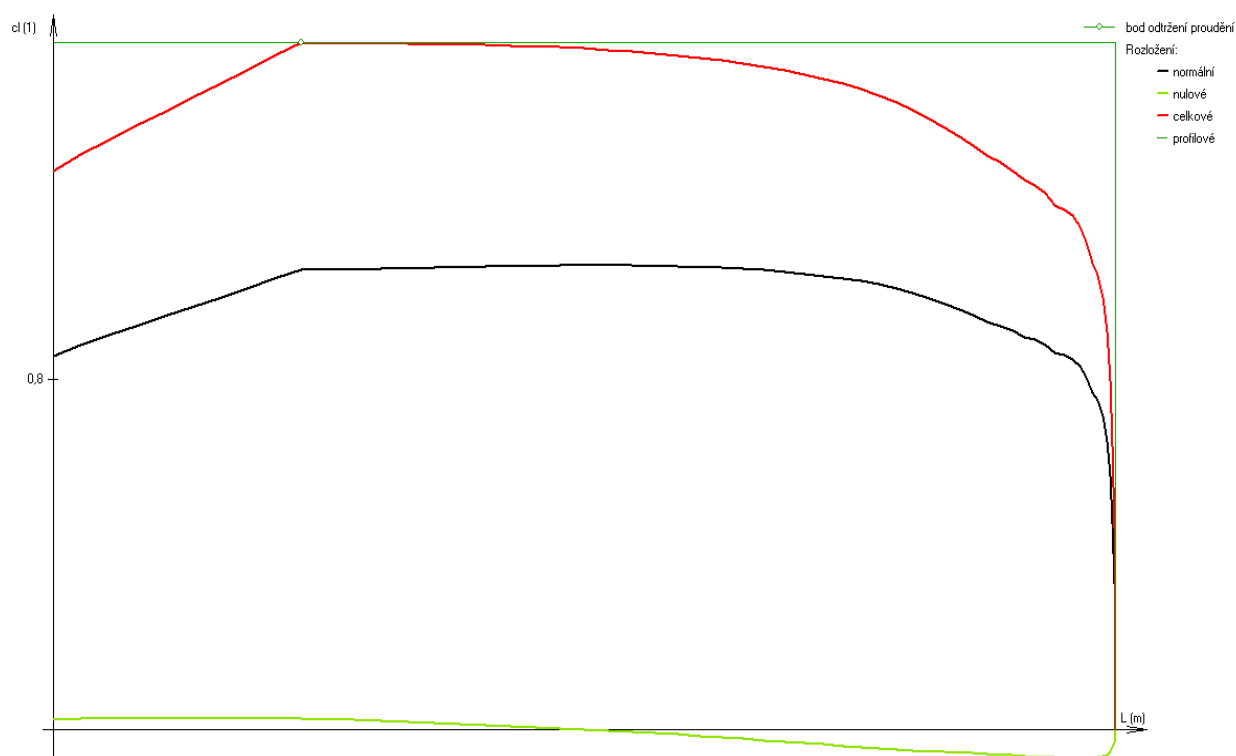
Pro výpočet rozložení vztlaku byl použit software Glauert III. Podklady pro výpočet jsou v tabulce 4.3. Obrázek 4.1 zobrazuje zadanou geometrii, kde nebyla uvažována šípovitost vzhledem k doporučení z Uživatelské příručky k softwaru (při výpočtu křídla s šípovitostí větší než 5° se snižuje přesnost) [11]. Graf 4.1 zobrazuje rozložení vztlaku na křídle, to je určeno jen pro symetrické letové případy. Hodnoty rozložení vztlaku na křídle jsou zobrazeny v tabulce 4.4. Klapkové a nesymetrické případy není nutné počítat.

y [m]	c(y) [m]	C_{Lp} [-]	a_0 [1/rad]	α_0 [°]	α_z [°]
0	1,8	1,568	5,131	-1,808	0
1,005	1,31	1,568	5,131	-1,808	0
1,025	1,3	1,568	5,131	-1,808	0
3,8	0,821	1,568	5,131	-1,808	-1,5
3,945	0,787	1,568	5,131	-1,808	-1,5
3,95	0,786	1,568	5,131	-1,808	-1,06
4,1	0,727	1,568	5,131	-1,808	-1,695
4,25	0,633	1,568	5,131	-1,808	-1,885
4,4	0,477	1,568	5,131	-1,808	-2,074
4,5	0,295	1,568	5,131	-1,808	-2,2

Tab. 4.3 Vstupy do programu Glauert III.



Obr. 4.1 Geometrie křídla letounu Stream v programu Glauert III.



Graf 4.1 Vypočítané rozložení vztlaku na křídle v programu Glauert III.

y [m]	c(y) [m]	C _{Ln} [-]	C _{L0} [-]
0,000	1,8	0,853	0,0247
0,300	1,654	0,9125	0,0262
0,395	1,607	0,9298	0,0265
0,400	1,605	0,9307	0,0265
0,500	1,556	0,9486	0,0268
0,700	1,459	0,9848	0,0272
1,005	1,31	1,0429	0,0268
1,020	1,302	1,0455	0,0267
1,025	1,3	1,0463	0,0267
1,100	1,287	1,0507	0,0259
1,200	1,27	1,0509	0,0244
1,500	1,218	1,0539	0,0189
1,800	1,166	1,0572	0,0122
2,100	1,114	1,0595	0,0043
2,400	1,063	1,0598	-0,0045
2,700	1,011	1,057	-0,0143
2,995	0,96	1,0497	-0,0248
3,000	0,959	1,0495	-0,025
3,200	0,925	1,0403	-0,0324
3,350	0,899	1,0302	-0,0382
3,500	0,873	1,016	-0,0438
3,650	0,847	0,9959	-0,0491
3,800	0,821	0,9674	-0,0535

3,945	0,787	0,934	-0,0564
3,950	0,786	0,9327	-0,0565
4,100	0,727	0,8999	-0,0612
4,250	0,63	0,8598	-0,0657
4,400	0,446	0,7728	-0,0659
4,500	0,21	0	0

Tab. 4.4 Hodnoty rozložení vztlaku na křídle letounu Stream.

Součinitel vztlaku křídla pro jednotlivé manévry je určen dle rovnice 4.1 [12].

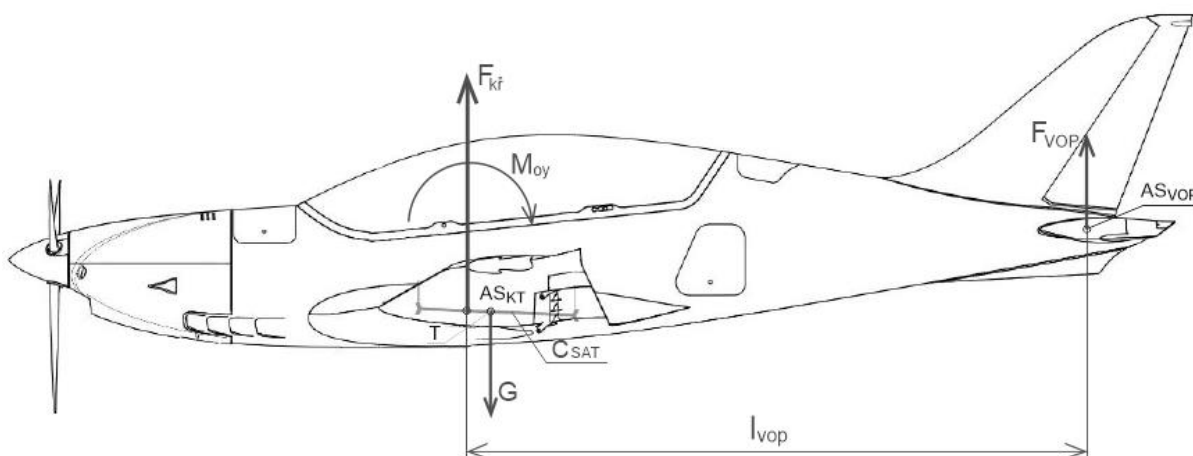
$$C_{Lkř} = \frac{2mng}{\rho v_{IAS}^2 S} [-] \quad (4.1)$$

kde:

- m – hmotnost letounu [kg]
- n – dosažený násobek manévru [-]
- g – tíhové zrychlení [m/s^2] (9.80665 m/s^2)
- v_{IAS} – rychlost v manévru [m/s]
- S – plocha křídla [m^2]
- ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

4.3. Vliv vyvažovací síly od vodorovných ocasních ploch

Do výpočtu zatížení byl zahrnut vliv vyvažovací síly od vodorovných ocasních ploch určený z momentové rovnováhy. Vodorovné ocasní plochy vyvažují klopivý moment vznikající tíhovou silou působící v těžišti letounu a momentem křídla od aerodynamického zatížení. Působíště vyvažovací síly se nachází v aerodynamickém středu vodorovných ocasních ploch a působí na ramenu l_{VOP} , což je vzdálenost aerodynamických středů kombinace křídlo-trup a vodorovných ocasních ploch (obr. 4.2) [12].



Obr. 4.2 Momentová rovnováha letounu.

Vyvažovací síla je vypočítána podle rovnice 4.2 odvozené z momentové rovnováhy.

$$F_{VOP} = \frac{M_{oy}}{l_{VOP}} [N] \quad (4.2)$$

kde:

- M_{oy} – výsledný klopivý moment [Nm]
- l_{VOP} – vzdálenost aerodynamických středů křídlo-trup a vodorovných ocasních ploch [m]

Výsledný klopivý moment (zobrazen v rovnici 4.3) je složen z klopivého momentu od tíhové síly a aerodynamického klopivého momentu. Do rovnice vstupuje také poloha aerodynamického středu křídlo-trup, jejíž výpočet je podrobně popsán v kapitole 4.3.1. Hodnoty vyvažovací síly pro jednotlivé manévry zobrazuje příloha C.

$$M_{O_y} = \frac{1}{2} \rho v_{IAS}^2 c_{SAT} c_{m0_{kř}} S + n m g c_{SAT} (\bar{x}_T - \bar{x}_{AKT}) [Nm] \quad (4.3)$$

kde:

- ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]
- v_{IAS} – rychlost v manévru [m/s]
- c_{SAT} – délka střední aerodynamické tělavy [m]
- $C_{m0_{kř}}$ – součinitel klonivého momentu křídla za letu [-] ($C_{m0_{kř}} = -0,048$)
- S – plocha křídla [m^2]
- n – dosažený násobek manévru [-]
- m – hmotnost letounu [kg]
- g – tíhové zrychlení [m/s^2] (9.80665 m/s^2)
- \bar{x}_T – poloha těžiště [-]
- \bar{x}_{AKT} – poloha aerodynamického středu kombinace křídlo-trup [-]

Vyvažovací síla vstupuje do rovnice pro výpočet vztlaku křídla 4.1 a vzniká tak vztah 4.4.

$$C_{Lkř} = \frac{2(mng - F_{VOP})}{\rho v^2 S} [-] \quad (4.4)$$

V tabulce 4.5 jsou zobrazeny hodnoty součinitele vztlaku křídla s vlivem vyvažovací síly od vodorovných ocasních ploch pro jednotlivé manévry.

Manévr	$C_{Lkř} [-]$
M1_20_211	0,584
M2_29_201	0,936
M3_29_198	0,974
M4_34_240	0,770
M5_00_217	0,030
M6_18_230	0,496
M7_19_201	0,687
M8_28_200	0,990
M9_31_222	0,839
M10_01_197	0,069

Tab. 4.5 Součinitel vztlaku křídla pro jednotlivé manévry.

4.3.1. Výpočet aerodynamického středu křídlo-trup

Vlivem trupu dochází k posunutí aerodynamického středu křídla o poměrnou hodnotu vypočítanou dle rovnice 4.5 [13].

$$\Delta \overline{x_{F_{tr}}} = -K_{F_{TR}} \frac{B_{tr} c_0^2}{S c_{SAT}} = -0,351 \frac{0,745 \cdot 1,61^2}{9,96 \cdot 1,199} = -0,0568 \quad (4.5)$$

kde:

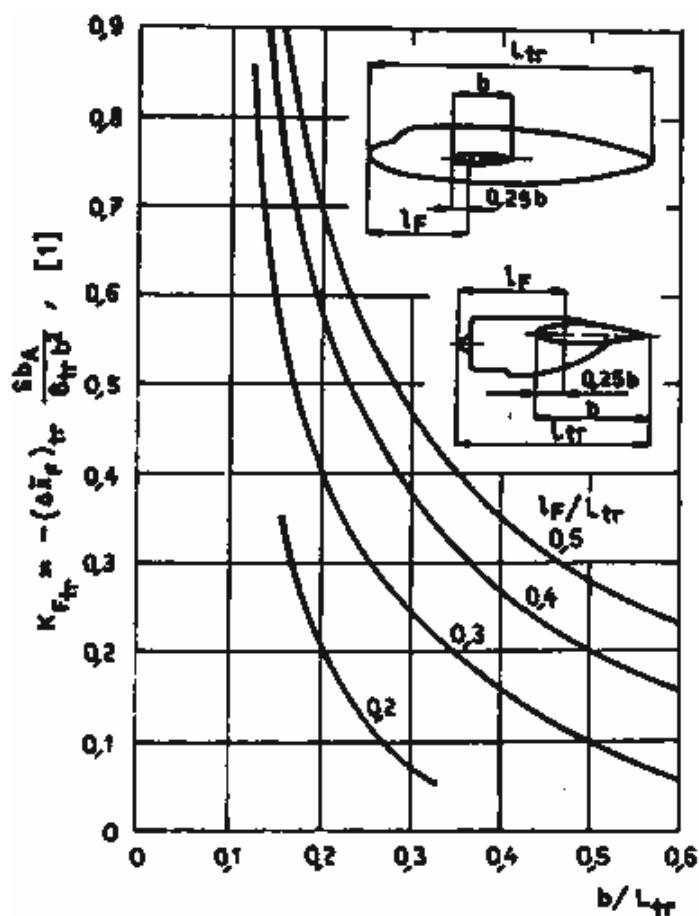
$K_{F_{TR}}$ – faktor vlivu trupu [1]

B_{tr} – šířka trupu v místě křídla [m]

S – plocha křídla [m²]

c_{SAT} – délka střední aerodynamické tětiny [m]

Faktor vlivu trupu je určen dle obrázku 4.3. Hodnoty potřebné pro jeho určení jsou uvedeny v tab. 4.1.



Obr. 4.3 Faktor vlivu trupu [13].

Poloha aerodynamického středu kombinace křídlo-trup se vypočítá dle rovnice 4.6.

$$\overline{x_{AKT}} = \overline{x_{AK}} + \Delta \overline{x_{ATR}} = 0,25 - 0,0568 = 0,1932 \quad (4.6)$$

4.4. Vliv trupu

Vlivem trupu dochází k úbytku vztlaku v jeho místě, ten je vyrovnán přírůstkem vztlaku na nezakrytém (exponovaném) křídle. Tímto přerozdělením vztlaku se zabývá metodika vycházející z norem NP-CAGI, jejíž výstupy jsou ověřeny pomocí CFD metod odborníky. Výpočet obecně zahrnuje také vliv gondol na křídle pro letouny s více motory, ve vzorcích jsou však tyto gondoly zanedbány. Rozložení vztlaku od vlivu trupu je označeno

jako Γ_{TR} (rovnice 4.7) a používá se v jednotkovém tvaru pro úbytek součinitele vztlaku v místě trupu $\Delta C_{LTR} = 1$. Rozložení vychází z normálního rozložení pro izolované křídlo bez vlivu trupu. Mimo trup je Γ_{TR} rovno normálnímu rozložení [14].

$$\Gamma_{TR} = (c_{LN}c)_i \left(1 - \frac{S}{B_{TR}\Gamma_{iN}}\right) \quad (4.7)$$

kde:

Γ_{iN} = $(c_{LN}c)_i$ – součin místního normálního součinitele vztlaku a místní hloubky křídla [-]

S – plocha křídla [m²]

B_{TR} – šířka trupu [m]

Úbytek součinitele vztlaku v místě trupu je počítán dle vztahu 4.8.

$$\Delta C_{LTR} = z B_{TR} \Gamma_{iN} C_{Lkř} \frac{1}{S - z B_{TR} \Gamma_{iN}} \quad (4.8)$$

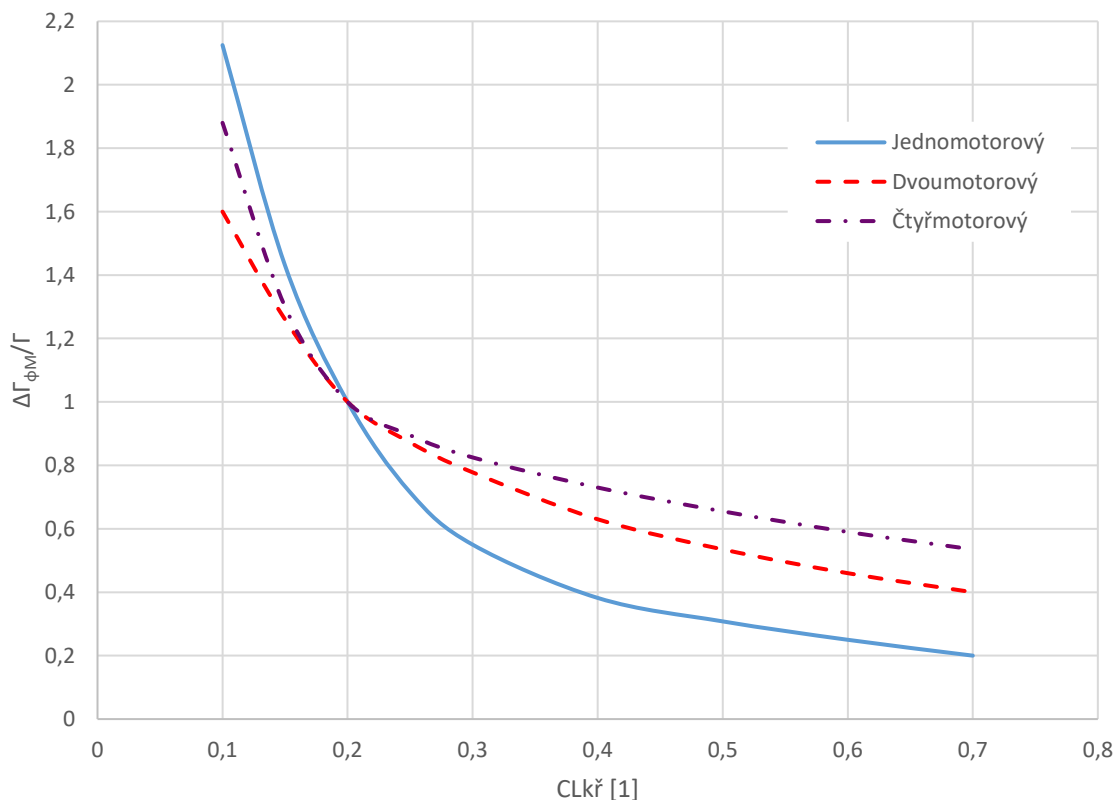
kde:

$z = \frac{\Gamma_{\phi M}}{\Gamma}$ – funkce poměrného úbytku cirkulace v místě trupu

Funkce poměrného úbytku cirkulace v místě trupu (gondol) je v normě NP-CAGI definovaná dle tab. 4.6 a grafu 4.2.

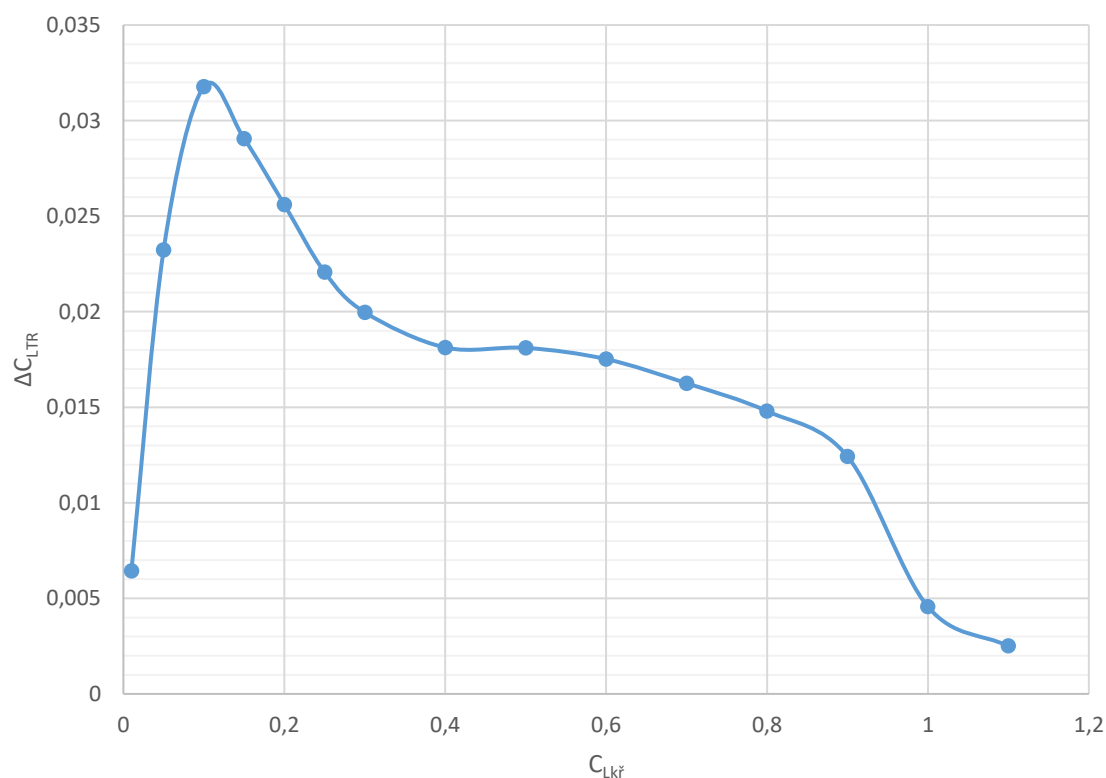
Typ letounu	$C_{Lkř}$								
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Jednomotorový	2,125	1,430	1,00	0,715	0,550	0,382	0,308	0,250	0,200
Dvoumotorový	1,600	1,260	1,00	0,872	0,778	0,630	0,535	0,460	0,400
Čtyřmotorový	1,880	1,300	1,00	0,895	0,825	0,730	0,655	0,590	0,535

Tab. 4.6 Hodnoty funkce poměrného úbytku cirkulace v místě trupu a gondol [14].



Graf 4.2 Funkce poměrného úbytku cirkulace v místě trupu a gondol.

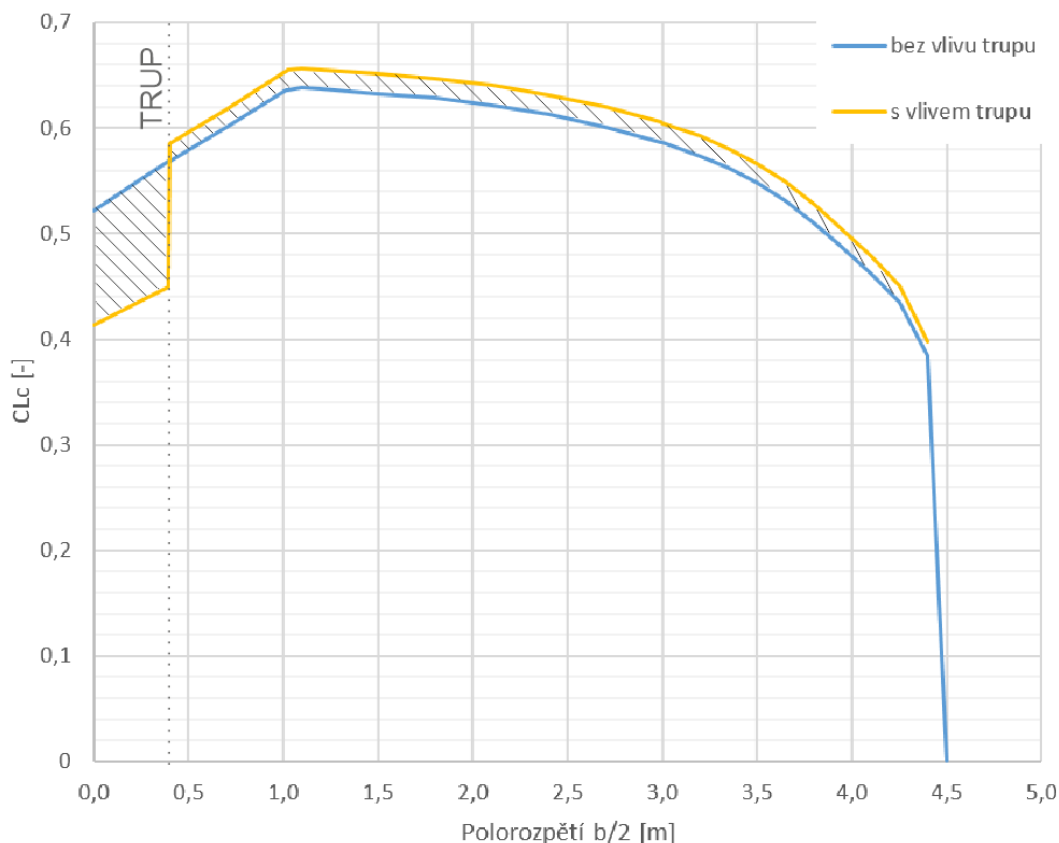
Protože se součinitel vztlaku nachází v některých manévrech mimo interval z normy, bylo nutné prodloužit křivku jednomotorového letounu v grafu 4.2 v obou směrech, tedy jak na stranu vyššího součinitele vztlaku křídla, tak i nižšího. Následně byla vytvořena křivka závislosti součinitele vztlaku křídla a úbytku součinitele vztlaku v místě trupu pro zkoušený letoun (graf 4.3), ze které je nutno odečíst pro vypočítaný součinitel vztlaku křídla (zahrnující vliv vyvažovací síly na VOP) danou hodnotu úbytku součinitele vztlaku v místě trupu pro každý naměřený manévr.



Graf 4.3 Závislost součinitele vztlaku křídla na úbytku součinitele vztlaku v místě trupu pro letoun Stream.

Rozložení vztlaku v místě trupu a mimo něj získané z rovnice 4.7 a normálního rozložení je poté násobené odečtenou hodnotou úbytku součinitele vztlaku z grafu 4.3 pro daný součinitel vztlaku křídla. Poté je toto rozložení od trupu použito ve výpočtu celkového rozložení vztlaku stejně jako nulové rozložení vztlaku dle rovnice 4.9.

Celkový součinitel vztlaku s vlivem trupu a bez něj pro manévr M1_20_211 je znázorněn v grafu 4.4. Vyšrafovaná oblast v místě trupu se rovná vyšrafované oblasti mimo trup.



Graf 4.4 Celkový součinitel vztlaku s vlivem trupu a bez něj podél rozpětí.

Hodnoty úbytku součinitele vztlaku v místě trupu pro jednotlivé manévry jsou zobrazeny v tabulce 4.7.

Manévr	ΔC_{LTR}
M1_20_211	0,01770
M2_29_201	0,00920
M3_29_198	0,00650
M4_34_240	0,01550
M5_00_217	0,01610
M6_18_230	0,01810
M7_19_201	0,01640
M8_28_200	0,00456
M9_31_222	0,01410
M10_01_197	0,02617

Tab. 4.7 Úbytek součinitele vztlaku v místě trupu pro jednotlivé manévry.

4.5. Aerodynamické zatížení

Zatížení křídla je složeno ze vzdušných a setrvačných sil. Tato podkapitola znázorňuje podrobný výpočet vzdušného zatížení a zobrazuje výsledky výpočtu pro jednotlivé manévry [12].

Celkové rozložení vztlaku pro jednotlivé letové manévry je spočítáno dle rovnice 4.9, do které vstupují hodnoty spočítané z programu Glauert III. Letové manévry jsou považovány ve výpočtu za symetrické případy.

$$C_{Lc}(y) = C_{Lkř}C_{Ln}(y) + C_{L0} \quad (4.9)$$

Liniové zatížení od vztlaku je spočítáno dle vztahu 4.10.

$$q_A(y) = \frac{1}{2} \rho v_{IAS}^2 C_{Lc}(y) c(y) \left[\frac{N}{m} \right] \quad (4.10)$$

Integrací liniového zatížení od vztlaku po křídle je vypočítána posouvající síla viz rovnice 4.11.

$$T_A(y) = \int_0^{b/2} q_A(y) dy \quad [N] \quad (4.11)$$

Ohybový moment je vypočítán integrací posouvající síly po křídle dle rovnice 4.12.

$$M_{oA}(y) = \int_0^{b/2} T_A(y) dy \quad [Nm] \quad (4.12)$$

Krutové liniové zatížení je vypočítáno dle rovnice 4.13.

$$q_{mA}(y) = \frac{1}{2} \rho v_{IAS}^2 c_{m0kř} c^2(y) \quad [N] \quad (4.13)$$

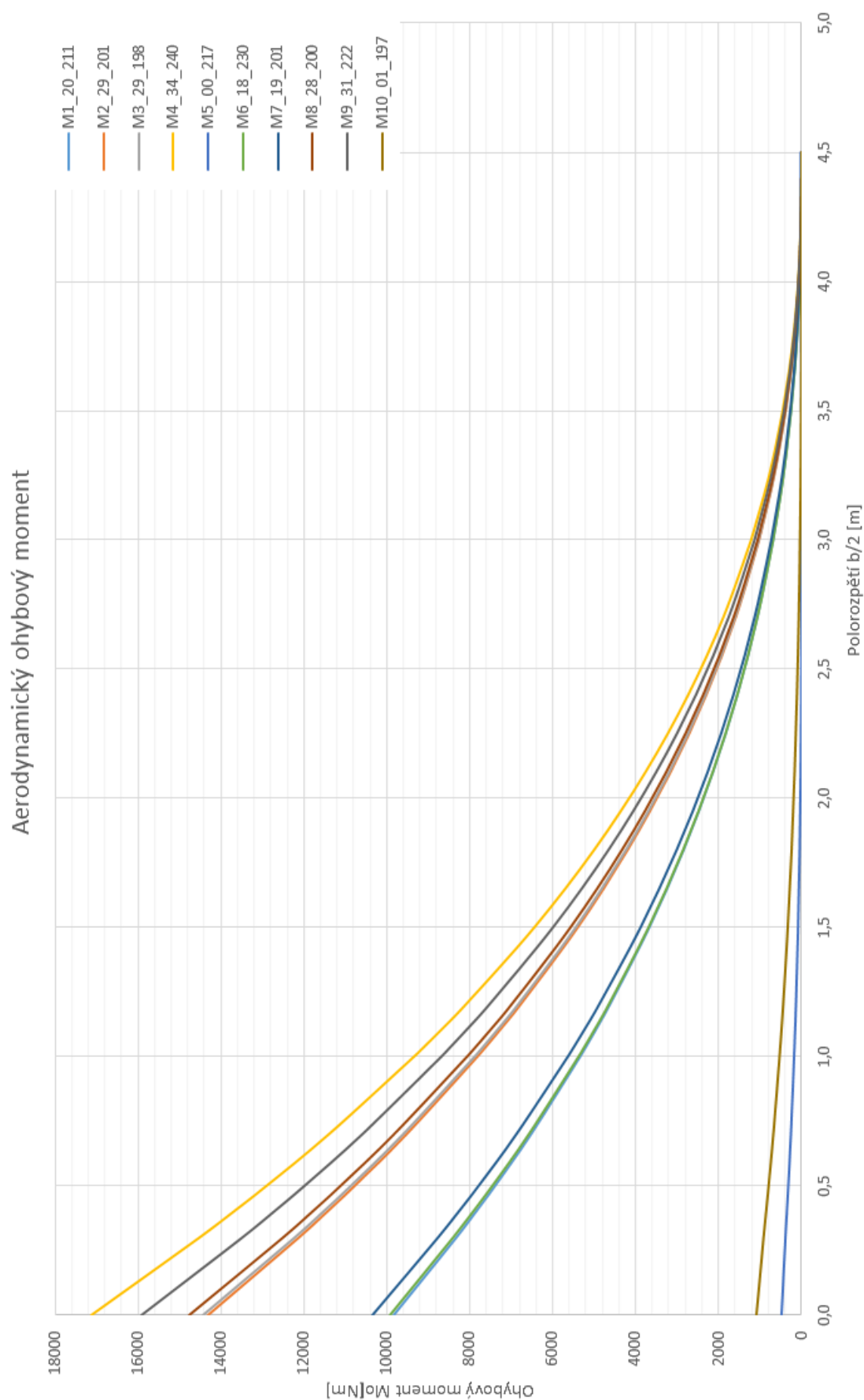
kde:

$c_{m0kř}$ – místní součinitel klopivého momentu, který je uvažován po rozpětí konstantní (hodnota v tab. 4.2.)

Integrací liniového zatížení od krouticího momentu po křídle je získán vztah 4.14 pro krouticí moment. Krouticí moment je vztažen k hlavnímu nosníku vnějšího křídla a centroplánu.

$$M_{kA}(y) = \int_0^{b/2} q_{mA}(y) dy \quad [Nm] \quad (4.14)$$

Graf 4.5 zobrazuje vypočítaný ohybový moment pro dílčí manévry vzniklý od zatížení vzdušnými silami. Výsledné hodnoty výpočtu jsou zobrazeny v příloze C, kde se nachází také grafy posouvající síly a krouticího momentu, vzniklé od zatížení vzdušnými silami.



Graf 4.5 Ohybový moment od aerodynamického zatížení pro jednotlivé manévry.

4.6. Zatížení od setrvačných sil

Do výpočtu obecně vstupuje hmotnost křídla a zároveň i palivo. Protože však řez, ve kterém je měřen ohybový moment pomocí tenzometrů, se nachází v místě, které ještě není ovlivněno setrvačným zatížením od paliva, není palivo ve výpočtu zahrnuto. Dále hmoty křídla jsou uvažovány pouze do tohoto měřicího řezu. Relevantní výsledky mohou být uvažovány od konce křídla po vzdálenost 1,005 m od podélné osy letounu.

Liniové zatížení od hmotových sil je vypočítáno dle vzorce 4.15 [12].

$$q_G(y) = -\frac{m_{kř}g}{S}c(y)n \left[\frac{N}{m} \right] \quad (4.15)$$

Stejně jako u vzdušného zatížení je posouvající síla výsledkem integrace po rozpětí viz vzorec 4.16. Další integrací je opět získán ohybový moment dle rovnice 4.17.

$$T_G(y) = \int_0^{b/2} q_G(y)dy \quad [N] \quad (4.16)$$

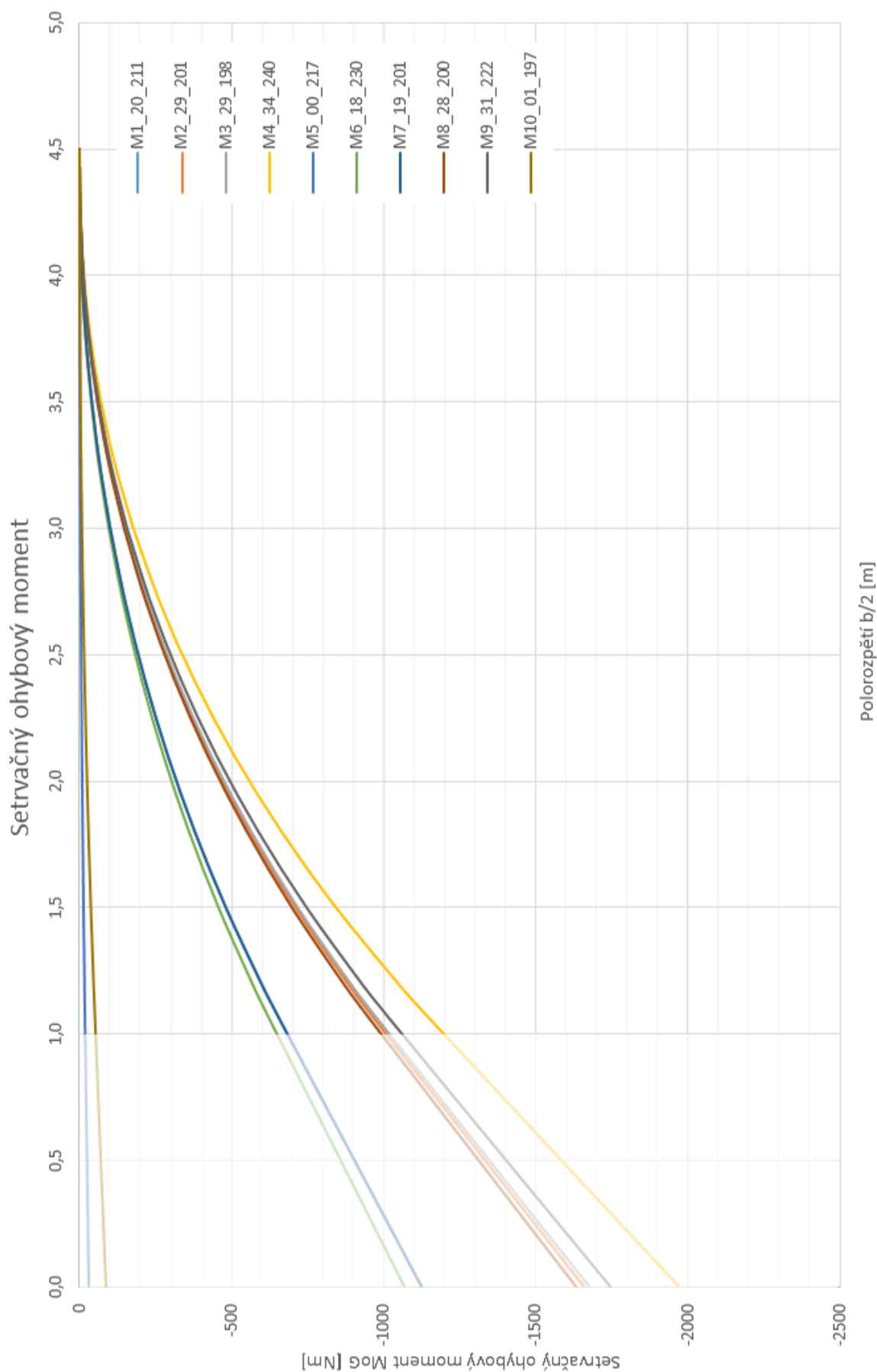
$$M_{oG}(y) = \int_0^{b/2} T_G(y)dy \quad [Nm] \quad (4.17)$$

Krouticí moment je vypočítán dle vzorce 4.18, do kterého vstupuje přírůstek posouvající síly z rovnice 4.19. Výpočet také zahrnuje polohu aerodynamického středu křídla $x_{Akř}=0,25$.

$$M_{kG}(y) = \int_0^{b/2} (0,4 - 0,25)c(y)dT_G(y)dy \quad [Nm] \quad (4.18)$$

$$dT_G(y) = \int_0^{b/2} q_G(y)dy \quad \left[\frac{N}{m} \right] \quad (4.19)$$

Ohybový moment způsobený setrvačnými silami v jednotlivých manévrech je zobrazen v grafu 4.6. Konkrétní hodnoty výsledků, grafy posouvající síly a krouticího momentu jsou uvedeny v příloze C.



Graf 4.6 Ohybový moment od setrvačných sil pro jednotlivé manévry.

4.7. Výsledné zatížení

Součtem aerodynamického a setrvačného zatížení je dáno zatížení výsledné. Pro posouvající sílu je výpočet dle rovnice 4.20, pro ohybový moment rovnice 4.21 a výsledný krouticí moment rovnice 4.22.

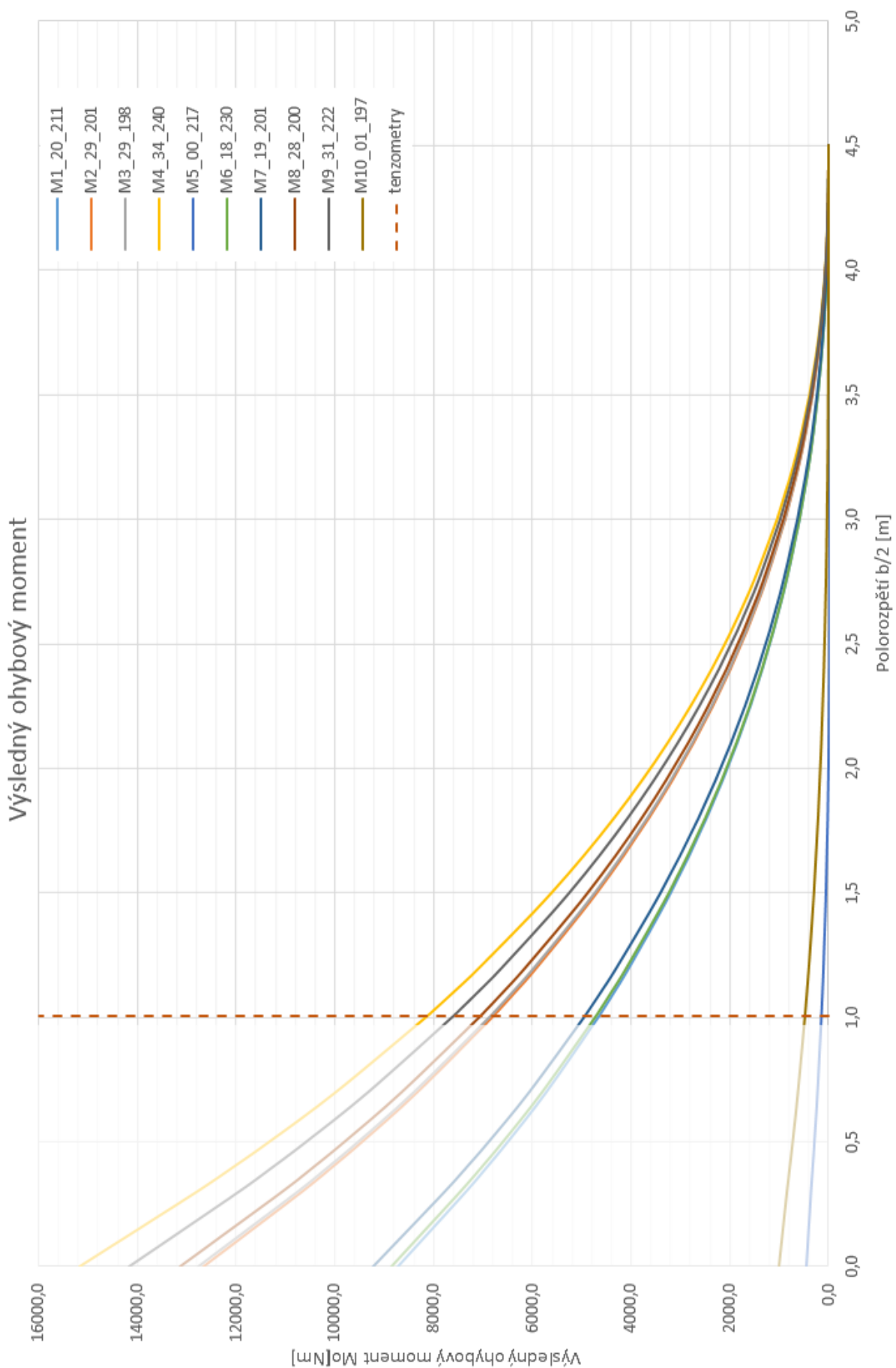
$$T = T_A + T_G [N] \quad (4.20)$$

$$M_o = M_{oA} + M_{oG} [Nm] \quad (4.21)$$

$$M_k = M_{kA} + M_{kG} [Nm] \quad (4.22)$$

Konkrétní hodnoty jsou znovu uvedeny v příloze C.

Výsledný ohybový moment zobrazuje graf 4.7. V grafu je vyznačen měřicí řez, kde se nachází hledané vypočítané hodnoty ohybového momentu pro jednotlivé manévry. Tyto hodnoty jsou dále zaznamenány v tabulce 4.8 a jsou porovnávány v následující kapitole.



Graf 4.7 Výsledný vypočítaný ohybový moment pro jednotlivé manévry.

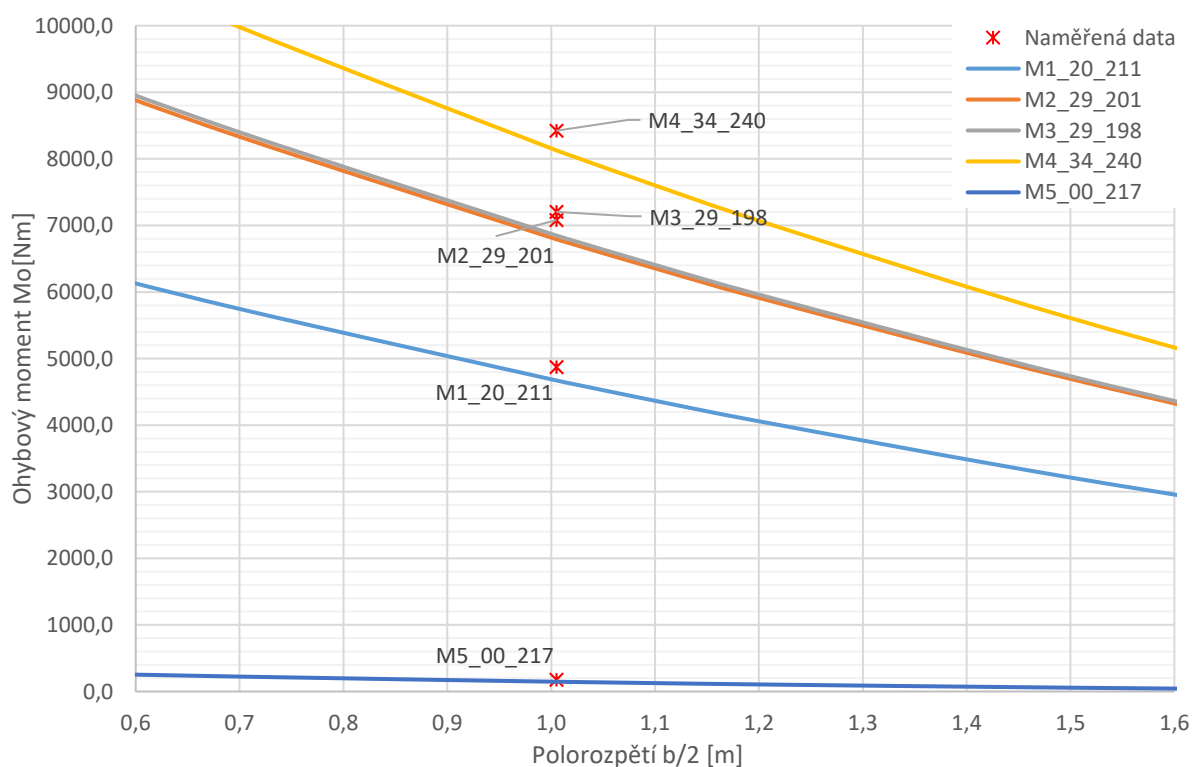
Manévr	Mo [Nm]
M1_20_211	4671,6
M2_29_201	6792,7
M3_29_198	6848,6
M4_34_240	8127,9
M5_00_217	146
M6_18_230	4708,4
M7_19_201	4934,2
M8_28_200	7043,2
M9_31_222	7603
M10_01_197	476,2

Tab. 4.8 Výsledný vypočítaný ohybový moment v místě tenzometrů.

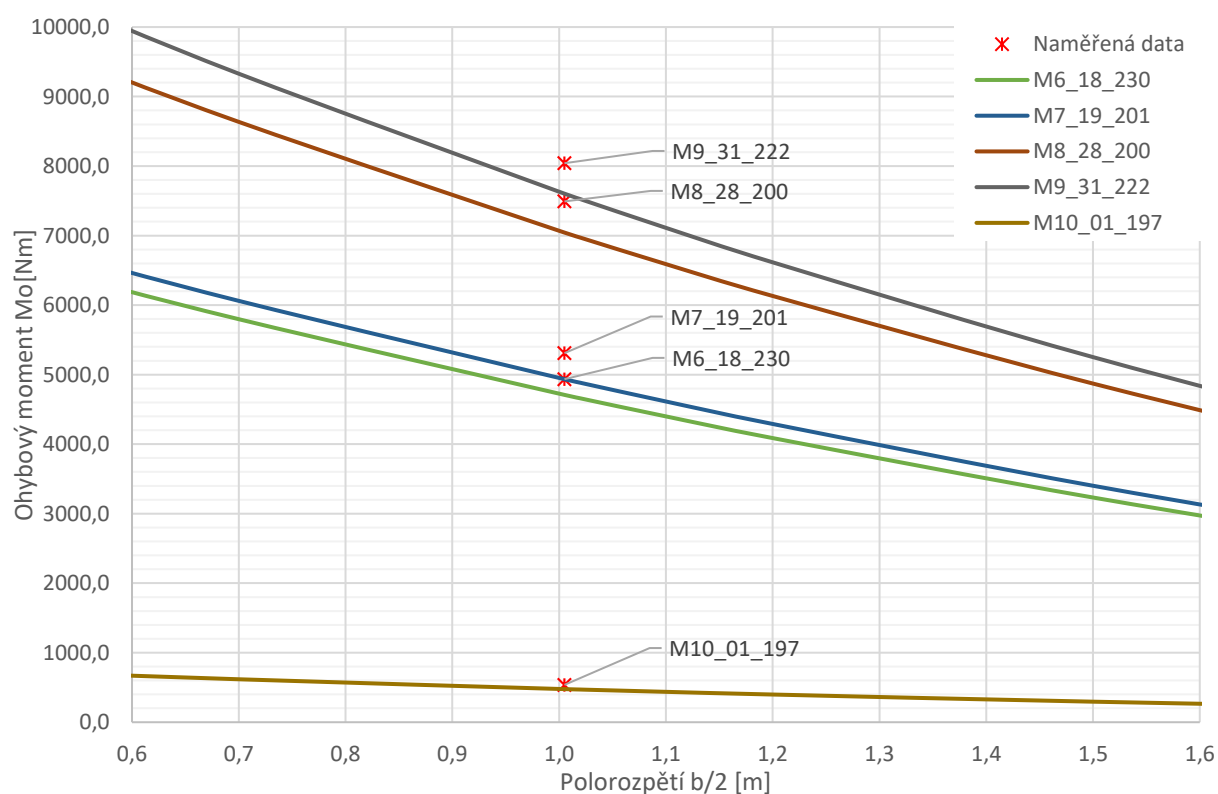
5. Porovnání výstupů z experimentu s teoretickými výpočty

V předchozích kapitolách byly získány hodnoty ohybových momentů v jednotlivých manévrech z letového měření a dále byla spočítána jejich teoretická hodnota. Tato kapitola se zabývá porovnáním obou hodnot v jednotlivých manévrech a vyhodnocenými závěry.

Základním porovnáním je vykreslení naměřených hodnot do grafu 4.7, kde byl zobrazen výsledný vypočítaný ohybový moment po rozpětí. V řezu 1005 mm od podélné osy letounu se dají vykreslit naměřené hodnoty. Pro přehlednost je zvlášť vykresleno porovnání pro vzletovou hmotnost 530 kg (graf 5.1) a pro 572 kg (graf 5.2).

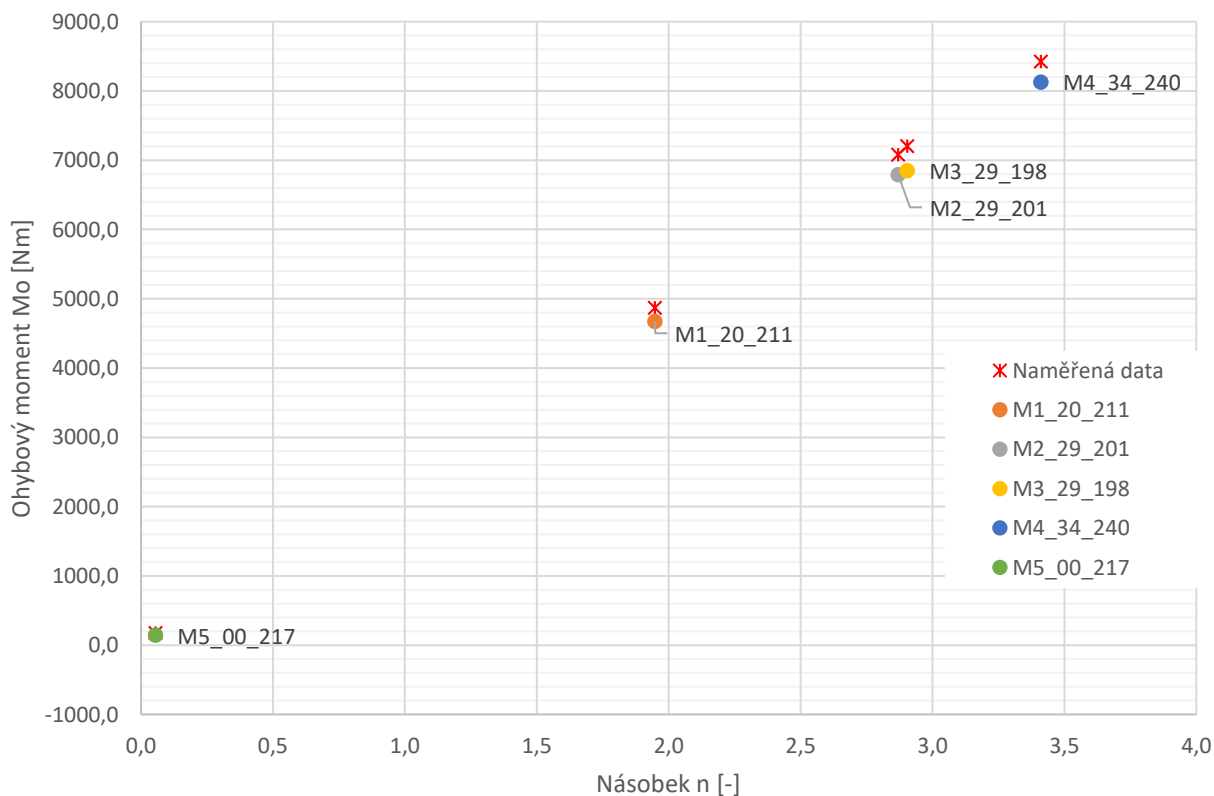


Graf 5.1 Porovnání vypočítaného ohybového momentu s naměřeným v jednotlivých manévrech, $m_{TOW}=530$ kg.

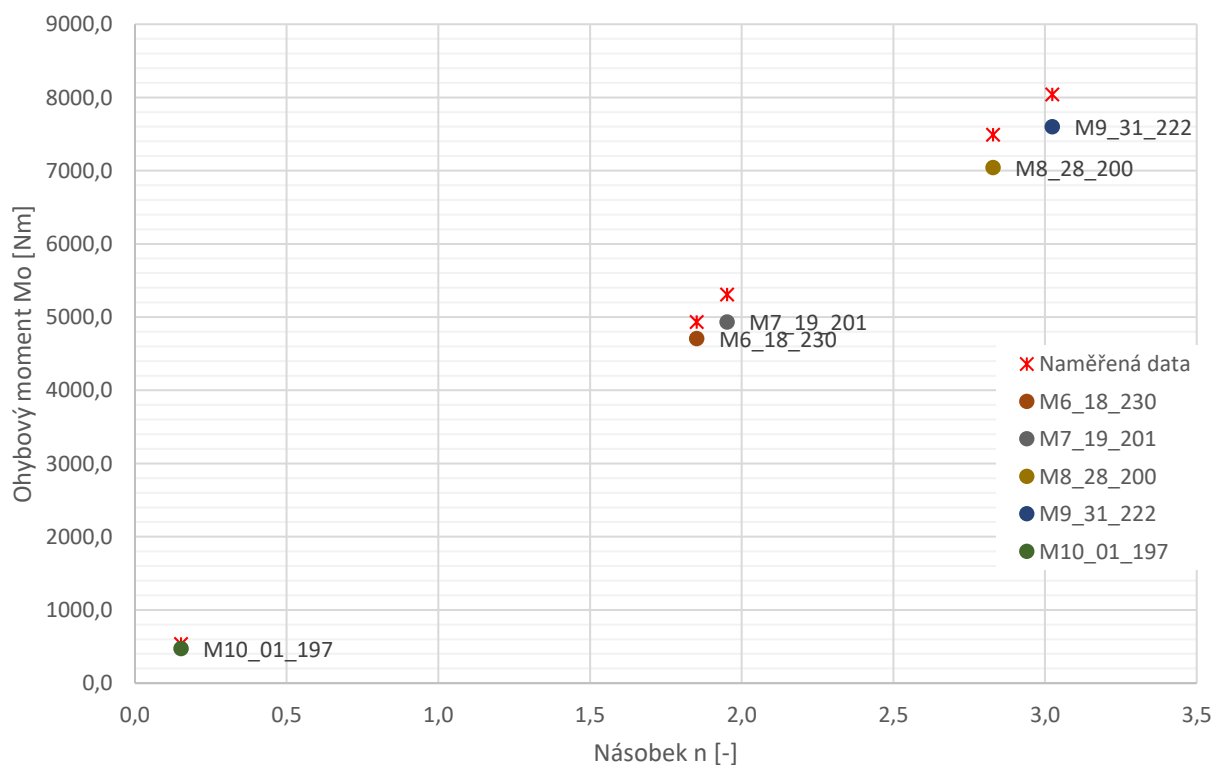


Graf 5.2 Porovnání vypočítaného ohybového momentu s naměřeným v jednotlivých manévrech, $m_{TOW}=572$ kg.

Další porovnání je provedeno v grafu závislosti ohybového momentu na dosaženém násobku v manévru. Grafy 5.3 a 5.4 znázorňují toto porovnání.



Graf 5.3 Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot ohybového momentu v závislosti na násobku v jednotlivých manévrech, $m_{TOW}=530$ kg.



Graf 5.4 Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot ohybového momentu v závislosti na násobku v jednotlivých manévrech, $m_{TOW}=572$ kg.

Tabulka 5.1 zobrazuje hodnoty vykreslené v předchozích čtyřech grafech a zároveň obsahuje rozdíl naměřených a vypočítaných hodnot ohybového momentu.

Manévr	Dosažený násobek [-]	Vypočítaný Mo [Nm]	Naměřený Mo [Nm]	Rozdíl [Nm]	Rozdíl [%]
M1_20_211	1,947	4671,6	$4871 \pm 1,3 \%$	199,2	4,3
M2_29_201	2,870	6792,7	$7080 \pm 0,7 \%$	287,7	4,2
M3_29_198	2,903	6848,6	$7204 \pm 0,7 \%$	354,9	5,2
M4_34_240	3,410	8127,9	$8423 \pm 0,6 \%$	295,2	3,6
M5_00_217	0,054	146	$176 \pm 20,1 \%$	29,9	-
M6_18_230	1,851	4708,4	$4934 \pm 1,1 \%$	226,1	4,8
M7_19_201	1,951	4934,2	$5309 \pm 2,4 \%$	375,0	7,6
M8_28_200	2,828	7043,2	$7492 \pm 1,2 \%$	448,5	6,4
M9_31_222	3,023	7603	$8041 \pm 0,2 \%$	438,3	5,8
M10_01_197	0,151	476,2	$537 \pm 7,1 \%$	60,9	-

Tab. 5.1 Porovnání naměřených a vypočítaných hodnot ohybového momentu v jednotlivých manévrech.

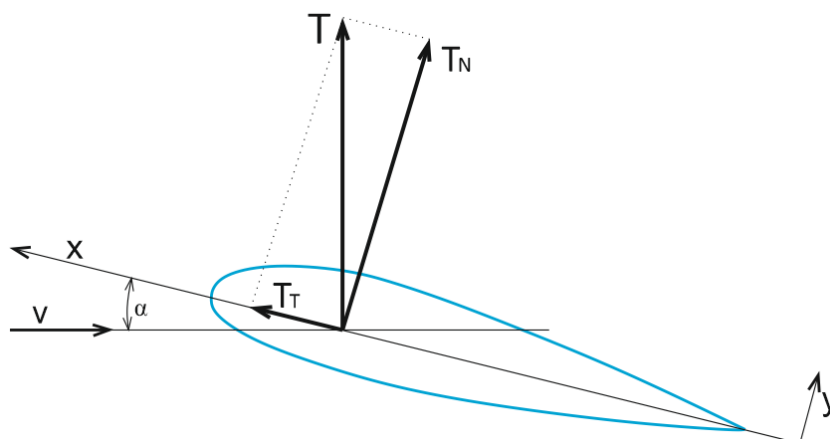
Průměrný rozdíl mezi měřením a výpočtem (jsou-li zanedbány manévry s nulovým násobkem) tvoří 4,15% pro hmotnostní konfiguraci se vzletovou hmotností 530 kg a 6,15 % pro hmotnostní konfiguraci se vzletovou hmotností 572 kg.

Z grafu a tabulky vyplývá, že naměřený ohybový moment je oproti vypočítanému ve všech případech vyšší. Manévry s vyšší hmotnostní a zadní centráží (M6_18_230 až M10_01_197) vykazují větší rozdíl mezi naměřenými a vypočítanými hodnotami.

Větší nepřesnosti nastaly u manévru, ve kterých bylo cílem dosažení nulového násobku. Tyto rozdíly mohou být způsobeny nízkými součiniteli vztlaku křídla, pro které není teorie přerozdělení vztlaku v místě trupu dle normy NP-CAGI vhodná. Vyvažovací síla od vodorovných ocasních ploch u manévru s nulovým násobkem zvětšuje součinitel vztlaku křídla až na dvojnásobnou hodnotu, což může ovlivnit ohybový moment.

Rozdíly způsobené jinými hmotnostními konfiguracemi a centráží vedou k otázce zabývající se rozložením sil do normálních a tečných složek dle obr. 5.1. V závislosti na úhlu náběhu dochází k rozložení výslednice posouvající síly vzniklé zatížením křídla. Měřený ohybový moment je pouze v ose y, tedy jen od normální síly T_N . Naopak výpočet zatížení zanedbává tečné složky vzniklých úhlem náběhu, počítá se tedy jen s výslednicí T . Za předpokladu, že s vyšší hmotností bude i vyšší úhel náběhu α v horizontálním letu a v měřených manévrech, nekorespondují výsledky s teorií, protože s vyšší hmotností roste i rozdíl naměřených a vypočítaných hodnot ve prospěch měření. S vyšším úhlem náběhu α se mění i ofukování trupu a tím dochází k přerozdělení zatížení na křídle směrem dále od trupu.

Je-li pro manévr M4_34_240 uvažován úhel náběhu $\alpha=4^\circ$, pak vypočítaná normální složka ohybového momentu je rovna 8108,1 Nm (tečná složka má hodnotu 567,0 Nm), což je o 19,8 Nm méně než bez úvahy rozložení zatížení. Rozdíl je tedy 0,24 %. Samozřejmě se hodnota rozdílu liší v případě jiného manévru a jiného úhlu náběhu.

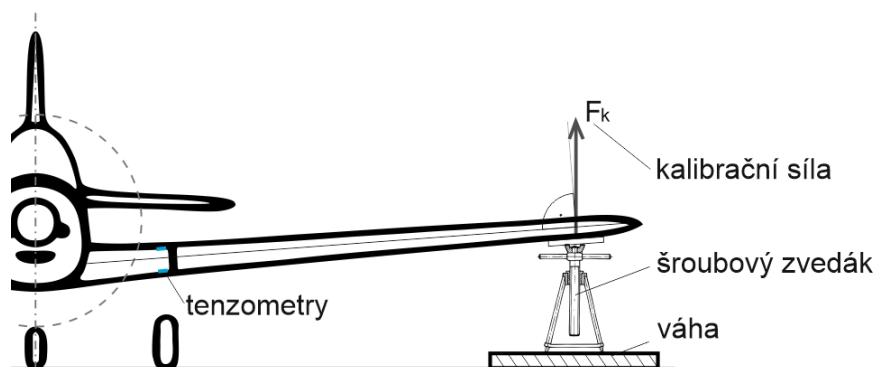


Obr. 5.1 Rozložení posouvající síly do normální a tečné složky.

Výsledky porovnání vypočítaného a změřeného ohybového mohou být ovlivněny některými nedostatky, které jsou znázorněny v následujících odrážkách:

- Nedostatky měření a jeho vyhodnocení

Vliv na výsledky může mít provedená kalibrace tenzometrů. Kalibrační síla vyvozená šroubovým zvedákem nebyla přímo normální vzhledem k vzepětí křídla a následné deformaci od zatěžování, jak je vidět na obr. 5.2. Dalším nedostatkem při kalibraci byla použitá váha, která měla rozlišení pouze 1 kg, což může způsobit určitou nejistotu v kalibraci.



Obr. 5.2 Schéma provedené kalibrace tenzometrického mostu.

Ve statistickém vyhodnocení ohybového momentu byl využit aritmetický průměr z určitého souboru dat pro každý manévru a byla také vypočítána pravděpodobná chyba měřeného výsledku. Tuto chybu je možné vidět v tabulce 3.3 u hodnot ohybového momentu. Chyba dosahuje hodnot (jsou-li zanedbány nulové násobky) 0,2 až 2,4 %. Z toho vyplývá, že některé manévry byly provedené lépe a některé naopak hůře dle velikosti pravděpodobné chyby. Čím menší je chyba, tím lépe byl manévru proveden.

Poloha těžiště v daných manévrech je vypočítána zjednodušeně lineárním úbytkem paliva, ten však lineární závislost nevykazuje vzhledem k vyšší spotřebě při vzletu a stoupání a naopak nižší při přistání. Je-li vyhodnocen skutečný úbytek paliva z datového záznamu palubního systému Garmin G3X pro manévru M1_20_21, který obsahuje aktuální průtok paliva do motoru v čase, tak lineární předpoklad úbytku paliva je nižší o 0,13 kg, což by vypočítaný výsledný ohybový moment v místě tenzometrů snížilo o 2,1 Nm. Chyba mohla vzniknout už při vážení letounu před letem a po letu, protože byly použity stejné váhy jako u kalibrace tenzometrů s rozlišením 1 kg.

Použitý senzor Xsens Mti pro zjištění násobku v manévru byl instalován vlevo od podélné osy letounu za levým pedálem zadního pilota. Správná poloha tohoto senzoru pro zjišťování zrychlení v ose z je právě v podélné ose letounu v místě těžiště, tudíž mohli vzniknout malé nepřesnosti vlivem tohoto umístění. Bohužel konstrukce letounu tuto instalaci neumožňovala, tudíž byla využita poloha nejbližší možná.

Protože byly problémy se snímáním celkového tlaku, rychlost byla zjišťována z palubního počítače Garmin G3X. Ten má však nízkou vzorkovací frekvenci a pro vyhodnocení bylo použito malé množství vzorků, ze kterých se mohlo dále statisticky vyhodnocovat. Rychlost tedy nemusí být přesná. Pokud by byl u manévru M1_20_21 rozdíl v rychlosti 3 km/h, ovlivnilo by to výsledný vypočítaný ohybový moment v místě tenzometrů o 0,9 Nm.

- Nedostatky výpočtu zatížení

Jak již bylo zmíněno, ve výpočtu není zahrnut úhel náběhu, protože je neznámý z letového měření. Pokud by byl úhel náběhu známý, mohlo být zatížení rozloženo do normálních a tečných složek.

Výpočet zanedbává také další vlivy, jako je vliv výchylky křidélek, vzepětí nebo šípovitost.

U součinitelů vztlaku křídla, které jsou mimo interval křivky změny cirkulace vlivem trupu (graf 4.2), bylo nutné vytvořit proložení této křivky. Tím u vysokých a u malých součinitelů vztlaku křídla dochází k jisté nepřesnosti.

Hmotnost vnější části křídla byla určena dle váhy vzorku při lámací zkoušce křídla na LÚ VUT v Brně, avšak na křídle chybělo světlo na konci včetně jeho kabeláže, a tak bylo nutné tuto hmotu odhadnout. Při výpočtu setrvačného zatížení od hmoty křídla pak byla rozpočítána hmotnost jen na uvažovanou vnější část. Tato hmotnost však zahrnuje i hmotnost krakorce, což způsobuje další nepřesnost ve výpočtu.

5.1. Návrhy na zpřesnění

Hlavním nedostatkem měření byla neznalost polohy křídla v daném manévru. Zpřesnění výpočtu by se dalo dosáhnout použitím pitot-statické trubice s alfa-beta sondou zaznamenávající úhel náběhu.

Dalšího zpřesnění výpočtu může být dosaženo znalostí výchylky křidélek v manévru, tudíž by bylo vhodné tuto výchylku měřit a zaznamenat současně s ostatními veličinami.

Vzhledem k vzniklým odchylkám při různých vzletových hmotnostech by bylo vhodné provést měření pro více hmotnostních konfigurací.

Zásadní zpřesnění by přinesla instalace většího počtu tenzometrů, a to nejen v jednom řezu na křídle. Vhodné by bylo měřit mimo ohybový moment také posouvající sílu a krouticí moment. To si ovšem vyžaduje instalaci daných tenzometrů do konstrukce křídla při výrobě a s tím spojené komplikace. Experiment v diplomové práci byl proveden již na hotovém letounu, tudíž nebylo možné do konstrukce křídla instalovat dané snímače.

Vhodné by také bylo rozšířit měření o další manévry v různých dosažených násobcích a vstupních rychlostech, a to např. náhlé vychýlení vodorovných ocasních ploch v horizontálním letu, vybrání strmého klesání nebo manévry se záporným násobkem. Tento návrh na zpřesnění byl podrobněji zapracován do letového plánu, který je zobrazen v příloze D.

Závěr

Cílem práce bylo provést experiment pro stanovení zatížení ultralehkého letounu. Konkrétně byl při letovém měření určen ohybový moment na křídle v jednom řezu.

V první části práce je podrobně popsána teorie měření neelektrické veličiny pomocí tenzometrů, podrobné zapojení měřicího systému a prvků v něm použitých.

Další kapitola obsahuje popis letounu, na kterém bylo měření provedeno, a následuje část s podrobným popisem vyhodnocení naměřených dat. V měřícím systému byla použita ústředna Dewetron Minitaur 101, která umožňuje záznam dat na vysoké vzorkovací frekvenci. Data byla zaznamenávána do softwaru DeweSoft.

Celkem byly realizovány dva lety s rozdílnými hmotnostními konfiguracemi a z každého bylo vybráno 5 manévřů s rozdílným dosaženým násobkem.

Pro vybrané manévry byl v další kapitole proveden výpočet zatížení na křídle, jehož výstupem byly hodnoty ohybového momentu v místě instalovaných tenzometrů.

Poslední kapitola porovnává hodnoty ohybového momentu z letového měření a z výpočtu zatížení. Rozdíl mezi těmito hodnotami je relativně malý, dosahuje hodnot 3,6 až 7,6 %. Je však zapotřebí se zmínit o chybách měření, vyhodnocení a výpočtu, které jsou zpracovány v závěru poslední kapitoly. Závěr také obsahuje návrhy na zpřesnění pro případ opakování experimentu včetně nového letového plánu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] DANĚK, Milan. Zkoušení letadel za letu. Brno: Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1962.
- [2] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie I. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [3] JEBÁČEK, Ivo. Zpráva z letových měření letounu Stream, zpráva LU39-2017-Stream.ZK, 29. 08. 2017
- [4] *DS MINITAU* [online]. Praha: Dewetron, 2013 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.dewetron.cz/produkty/merici-systemy-dewesoft/ds-minitaur/>
- [5] *SNÍMAČE TLAKU BD SENSORS* [online]. Buchlovice: BD SENSORS s.r.o. [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.bdsensors.cz/tlak/snimace-tlaku/>
- [6] *MTi (legacy product)* [online]. Xsens, 2017 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <https://www.xsens.com/products/mti/>
- [7] Stream - TL-ULTRALIGHT Aircraft [online]. Hradec Králové: TL-ULTRALIGHT, s.r.o., 2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/stream>
- [8] *Stream – Pilot's operating handbook*. Hradec Králové: TL-ULTRALIGHT, s.r.o.. Dostupné také z: <http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/poh-stream-ul-na-web.pdf>
- [9] PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [10] KÁBRT, M., KÁBRT, P. Aerodynamické, geometrické a hmotové vstupy do výpočtu zatížení letounu STREAM, zpráva firmy Vanessa Air, 30. 10. 2017.
- [11] VANĚK, František, Jiří HLINKA. Uživatelská příručka programu GLAUERT III. Brno: Letecký ústav, VUT v Brně, 2003.
- [12] PÍŠTĚK, Antonín, et al. Pevnost a životnost letadel I. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988.
- [13] DANĚK, Vladimír. Projektování letadel. Brno: Letecký ústav, VUT v Brně, 1991.
- [14] Norma NP CAGI, Rusko, 1947.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Název symbolu
a	[mm]	rameno od referenčního vztažného bodu k předovému podvozku
a_0	[1/rad]	sklon vztlakové čáry profilu
Acc Z	[m/s ²]	zrychlení v ose z získané ze senzoru Xsens MTi
a_{kr}	[1/rad]	sklon vztlakové čáry křídla
b	[mm]	rameno od referenčního vztažného bodu k hlavnímu podvozku
B_{TR}	[m]	šířka trupu
c	[mm]	vzdálenost počátku střední aerodynamické tělivity od ref. vztažného bodu
c_0	[m]	hloubka kořene křídla
C_{L0}	[-]	nulové rozložení vztlaku křídla
C_{Lc}	[-]	celkové rozložení vztlaku
$C_{Lkř}$	[-]	součinitel vztlaku křídla
C_{Ln}	[-]	místní součinitel vztlaku křídla
$C_{Ln,svt}$	[-]	normální rozložení vztlaku s vlivem trupu po rozpětí křídla
C_{Lp}	[-]	součinitel vztlaku profilu
$C_{m0kř}$	[-]	součinitel klopivého momentu křídla
c_{SAT}	[m]	velikost střední aerodynamické tělivity křídla
F_k	[N]	kalibrační síla
F_{VOP}	[N]	vyvažovací síla od vodorovných ocasních ploch
g	[m/s ²]	tíhové zrychlení
I	[A]	proud
k	[-]	součinitel deformační citlivosti
K_{FTR}	[1]	faktor vlivu trupu
l_{vod}	[m]	délka vodiče
l	[m]	rozpětí křídla
l_f	[m]	délka přídě k aerodynamickému středu křídla
L_{tr}	[m]	délka trupu
l_{VOP}	[m]	vzdálenost aerodynamických středů křídlo-trup a vodorovných ocasních ploch
M	[kg/kmol]	molární hmotnost plynu (vzduchu)
m	[kg]	hmotnost letounu v manévru
m_h	[kg]	změřená hmotnost na hlavním podvozku
M_k	[Nm]	výsledný krouticí moment na křídle
M_{kA}	[Nm]	krouticí moment od vztlaku
$m_{kř}$	[kg]	hmotnost křídla
M_o	[Nm]	ohybový moment
M_o	[Nm]	výsledný ohybový moment na křídle
M_{oA}	[Nm]	ohybový moment od vztlaku
M_{oG}	[Nm]	ohybový moment od setrvačných sil
M_{oG}	[Nm]	krouticí moment od setrvačných sil
M_{o_y}	[Nm]	výsledný klonivý moment letounu
m_p	[kg]	změřená hmotnost na předovém podvozku

m_{TOW}	[kg]	vzletová hmotnost letounu
n	[-]	násobek v manévru
p_0	[Pa]	statický tlak vzduchu v 0 m MSA
p_c	[Pa]	celkový tlak naměřený tlakoměrem
p_{st}	[Pa]	statický tlak naměřený tlakoměrem
q_A	[N/m]	liniové zatížení od vztlaku
q_G	[N/m]	liniové zatížení od setrvačných sil
q_{m_A}	[Nm]	krutové liniové zatížení od vztlaku
R	[Ω]	odpor válcového vodiče
R	[J.mol ⁻¹ .kg ⁻¹]	plynová konstanta
S_{vod}	[m ²]	průřez válcového vodiče
S	[m ²]	plocha křídla
S_1	[m ²]	plocha křídla zakrytá trupem
T	[N]	výsledná posouvající síla na křídle
T_0	[K]	teplota vzduchu v 0 m MSA
T_A	[N]	posouvající síla od vztlaku
T_G	[N]	posouvající síla od setrvačných sil
T_N	[N]	normální složka posouvající síly na křídle
T_T	[N]	tečná složka posouvající síly na křídle
T_{vz}	[K]	teplota vzduchu v manévru
U_m	[V]	měrné napětí
U_n	[V]	napájecí napětí
v_A	[km/h]	návrhová obratová rychlost letu
v_C	[km/h]	cestovní rychlost letu
v_D	[km/h]	rychlost střemhlavého letu
v_G	[km/h]	rychlost v bodě G letové obálky
V_{IAS}	[m/s]	indikovaná rychlost letounu
v_{s0}	[km/h]	pádová rychlost letounu
x_{T0}	[mm]	poloha těžiště letounu vzhledem k referenčnímu vztažnému bodu
z	[-]	funkce poměrného úbytku cirkulace v místě trupu
α	[°]	úhel náběhu
α_0	[°]	úhel nulového vztlaku profilu
α_z	[°]	úhel zkroucení konce křídla
ε	[-]	poměrná změna délky vodiče
Γ_{iN}	[-]	součin místního normálního součinitele vztlaku a místní hloubky křídla
Γ_{TR}	[-]	rozložení vztlaku od vlivu trupu
ΔC_{LTR}	[-]	úbytek součinitele vztlaku v místě trupu
η	[-]	zúžení křídla
λ	[-]	štíhlost křídla
λ_E	[-]	efektivní štíhlost křídla
ρ_{vod}	[Ωm]	měrný odpor materiálu vodiče
ρ_0	[kg/m ³]	hustota vzduchu v 0 metrech MSA
ρ_{vz}	[kg/m ³]	aktuální hustota vzduchu v době manévru
χ	[°]	šíp křídla
dT_G	[N/m]	přírůstek posouvající síly

$\overline{x_{AK}}$	[-]	aerodynamický střed křídla
$\overline{x_{AKT}}$	[-]	poloho aerodynamického středu kombinace křídlo-trup
$\overline{x_T}$	[-]	poloha těžiště vzhledem ke střední aerodynamické těživě křídla
$\frac{\Delta R}{R}$	[-]	poměrná změna odporu
$\Delta \overline{x_{F_{tr}}}$	[-]	poměrná hodnota posunutí aerodynamického středu křídla vlivem trupu

Seznam příloh

PŘÍLOHA A – SEZNAM MĚŘENÝCH VELIČIN.....	69
PŘÍLOHA B – VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH MANÉVRŮ	70
PŘÍLOHA C – VÝPOČET ZATÍŽENÍ	81
PŘÍLOHA D – NAVRŽENÝ LETOVÝ PLÁN PEVNOSTNÍ LETOVÉ ZKOUŠKY	114

Příloha A – Seznam měřených veličin

Název souboru: Stream-letová-měření_2017_06_27_144410.dxd

Datum: 27.06.2017; Čas: 14:44:10

Trigger podmínky: vždy rychle

Počet kanálů: 15

Vzorkování: 100 s/sec

Kanály

K. č.	Rychl.	Jméno kanálu	Zesilovač	Přepočítaný rozsah	Min	Max
AI 1	100	Strains	DW43 (Bridge; 400 mV/V .. Anti-aliasing filt...	Strain Gauges od -...	-7977	556,5
AI 2	100	dp	DPS 2000Pa; DW43 (Voltage; 10 V;) SN: D...	Rozdíl tlaku od -20...	-1,365	1548
AI 3	100	pst	APS 0.8-1.2 Bar; DW43 (Voltage; 10 V;) SN...	Statický tlak od 3,9...	87147	98503
Kanál 0	100,0	Acc X		od -20 do 20 m/s2	-3,804	4,455
Kanál 1	100,0	Acc Y		od -20 do 20 m/s2	-14,2	11,12
Kanál 2	100,0	Acc Z		od -20 do 20 m/s2	-2,51	35,19
Kanál 3	100,0	Gyr X		od -10 do 10 rad/s	-0,6847	0,5957
Kanál 4	100,0	Gyr Y		od -10 do 10 rad/s	-0,5435	0,2855
Kanál 5	100,0	Gyr Z		od -10 do 10 rad/s	-0,2946	0,3248
Kanál 6	100,0	Mag X		od -5 do 5 mGauss	1,003	2,474
Kanál 7	100,0	Mag Y		od -5 do 5 mGauss	0,3728	2,992
Kanál 8	100,0	Mag Z		od -5 do 5 mGauss	-1,817	-0,1003
Kanál 13	100,0	Roll		od -200 do 200 deg	-125	150,6
Kanál 14	100,0	Pitch		od -100 do 100 deg	-83,38	50,7
Kanál 15	100,0	Yaw		od -200 do 200 deg	-180	180

Události

ukládání spuštěno 27.06.2017 14:44:10,084

ukládání ukončeno 27.06.2017 15:09:11,894

Příloha B – Vyhodnocení naměřených manévrů

M1_20_211 – Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
27,6,2017 14:57:48	-4384,6	4772,2	1199,8	87405,4	1229,2	19,3659	1,851
27,6,2017 14:57:48	-4447,2	4840,4	1195,4	87412,4	1228,5	18,8691	1,818
27,6,2017 14:57:48	-4458,6	4852,8	1192,5	87411,9	1228,6	18,4588	1,937
27,6,2017 14:57:48	-4314,4	4695,8	1192,2	87404,0	1229,3	18,2456	1,949
27,6,2017 14:57:48	-4546,6	4948,5	1189,1	87411,9	1228,6	19,6947	1,963
27,6,2017 14:57:48	-4561,5	4964,7	1189,7	87408,6	1228,9	20,4378	1,951
27,6,2017 14:57:49	-4396,0	4784,6	1190,5	87403,9	1229,3	18,5902	1,812
27,6,2017 14:57:49	-4456,1	4850,0	1190,3	87397,6	1229,9	17,8760	1,874
27,6,2017 14:57:49	-4458,5	4852,6	1190,0	87402,6	1229,5	19,2050	2,028
27,6,2017 14:57:49	-4407,1	4796,7	1191,6	87395,7	1230,1	19,3630	2,008
27,6,2017 14:57:49	-4377,6	4764,6	1188,3	87394,5	1230,2	18,8206	1,848
27,6,2017 14:57:49	-4349,2	4733,7	1186,2	87391,4	1230,5	18,2419	1,917
27,6,2017 14:57:49	-4492,1	4889,2	1180,1	87401,4	1229,6	19,3911	2,022
27,6,2017 14:57:49	-4500,1	4897,9	1175,9	87404,2	1229,3	19,3400	1,984
27,6,2017 14:57:49	-4685,1	5099,2	1170,7	87409,6	1228,8	19,2051	2,044
27,6,2017 14:57:49	-4530,6	4931,1	1171,5	87400,9	1229,6	19,9011	1,901
27,6,2017 14:57:50	-4441,4	4834,0	1175,2	87395,0	1230,2	19,1053	1,889
27,6,2017 14:57:50	-4491,2	4888,2	1176,4	87393,6	1230,3	18,4936	1,965
27,6,2017 14:57:50	-4544,6	4946,3	1176,0	87390,4	1230,6	19,0734	2,115
27,6,2017 14:57:50	-4467,9	4862,9	1176,1	87390,1	1230,6	19,5792	1,913
27,6,2017 14:57:50	-4521,1	4920,7	1180,6	87382,6	1231,3	19,0581	1,835
27,6,2017 14:57:50	-4419,7	4810,4	1179,2	87388,4	1230,8	18,9331	1,910
27,6,2017 14:57:50	-4515,1	4914,2	1176,4	87386,3	1231,0	19,7447	2,135
27,6,2017 14:57:50	-4554,6	4957,2	1170,4	87399,7	1229,7	19,9486	2,036
27,6,2017 14:57:50	-4596,2	5002,5	1167,3	87396,2	1230,1	19,7272	2,016
27,6,2017 14:57:50	-4322,9	4705,0	1167,2	87391,2	1230,5	19,4301	1,903
27,6,2017 14:57:51	-4374,2	4760,9	1168,1	87387,0	1230,9	19,3869	1,959
27,6,2017 14:57:51	-4373,8	4760,4	1165,9	87385,2	1231,1	18,5798	1,939
27,6,2017 14:57:51	-4334,6	4717,8	1169,0	87377,5	1231,8	17,7594	1,821
27,6,2017 14:57:51	-4362,7	4748,3	1166,7	87385,8	1231,0	18,8576	2,011
27,6,2017 14:57:51	-4539,3	4940,5	1165,6	87382,7	1231,3	19,6885	1,925
27,6,2017 14:57:51	-4603,2	5010,1	1163,2	87389,0	1230,7	19,1912	1,996
27,6,2017 14:57:51	-4633,1	5042,7	1161,4	87392,2	1230,4	19,8310	1,988
27,6,2017 14:57:51	-4577,2	4981,8	1160,9	87388,2	1230,8	18,7466	2,044
27,6,2017 14:57:51	-4507,5	4906,0	1160,6	87380,4	1231,5	19,5095	1,962
27,6,2017 14:57:51	-4440,1	4832,7	1157,4	87379,0	1231,7	19,0653	1,839
27,6,2017 14:57:52	-4509,8	4908,5	1160,0	87382,3	1231,4	19,1006	1,859
27,6,2017 14:57:52	-4441,7	4834,3	1162,1	87377,8	1231,8	19,1519	1,969
27,6,2017 14:57:52	-4396,0	4784,7	1163,4	87371,3	1232,4	18,7892	1,884
27,6,2017 14:57:52	-4516,4	4915,7	1161,1	87371,2	1232,4	19,6968	1,950

27,6,2017 14:57:52	-4633,1	5042,6	1159,1	87373,3	1232,2	19,4819	2,014
27,6,2017 14:57:52	-4551,6	4954,0	1155,0	87378,2	1231,7	19,8106	2,072
27,6,2017 14:57:52	-4553,1	4955,6	1156,9	87368,2	1232,7	18,8167	1,907
27,6,2017 14:57:52	-4470,1	4865,2	1161,2	87360,0	1233,5	18,9699	1,937
27,6,2017 14:57:52	-4487,9	4884,6	1157,4	87362,5	1233,2	18,9238	2,018
27,6,2017 14:57:52	-4374,4	4761,1	1155,3	87361,6	1233,3	20,0398	1,952
27,6,2017 14:57:53	-4431,4	4823,1	1156,1	87358,3	1233,6	18,7245	1,971
27,6,2017 14:57:53	-4398,0	4786,8	1153,9	87351,7	1234,2	18,3910	1,809
27,6,2017 14:57:53	-4414,7	4804,9	1151,5	87354,1	1234,0	18,4303	1,944
27,6,2017 14:57:53	-4570,0	4974,0	1151,7	87354,2	1234,0	19,3521	1,999
27,6,2017 14:57:53	-4437,8	4830,1	1149,7	87350,5	1234,3	19,2366	1,916
27,6,2017 14:57:53	-4400,9	4789,9	1147,5	87349,7	1234,4	19,5700	1,911
27,6,2017 14:57:53	-4502,0	4900,0	1147,4	87343,9	1235,0	17,8193	1,932
27,6,2017 14:57:53	-4586,8	4992,3	1148,9	87342,2	1235,1	19,3943	2,009
Průměrné	-4475,2	4870,8	1169,9	87383,8	1231,2	19,119	1,947

M1_20_211 – Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-27	12:57:48	211,87	114,4	16,3
2017-06-27	12:57:49	211,87	114,4	16,3
2017-06-27	12:57:50	211,87	114,4	16,3
2017-06-27	12:57:51	211,87	114,4	16,3
2017-06-27	12:57:52	210,02	113,4	16,3
2017-06-27	12:57:53	208,16	112,4	16,3
	Průměrné	210,94	113,9	16,3

M2_29_201 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
27,6,2017 14:58:39	-6503,5	7078,4	1076,7	87416,1	1228,2	27,322	2,879
27,6,2017 14:58:39	-6529,5	7106,7	1074,4	87411,1	1228,7	28,011	2,822
27,6,2017 14:58:39	-6469,1	7040,9	1072,3	87406,9	1229,1	28,171	2,908
27,6,2017 14:58:39	-6430,3	6998,7	1069,5	87407,8	1229,0	27,750	2,720
27,6,2017 14:58:39	-6405,6	6971,8	1066,9	87405,0	1229,2	27,643	2,886
27,6,2017 14:58:39	-6441,0	7010,4	1063,8	87401,4	1229,6	27,642	2,833
27,6,2017 14:58:39	-6441,2	7010,6	1061,7	87402,1	1229,5	28,350	2,885
27,6,2017 14:58:39	-6461,1	7032,3	1059,3	87405,4	1229,2	28,254	2,894
27,6,2017 14:58:40	-6431,5	7000,0	1057,7	87401,5	1229,6	28,174	2,809
27,6,2017 14:58:40	-6470,4	7042,3	1054,6	87405,8	1229,2	28,028	2,840
27,6,2017 14:58:40	-6430,0	6998,4	1051,8	87403,4	1229,4	27,454	2,851
27,6,2017 14:58:40	-6543,8	7122,3	1052,8	87402,6	1229,5	27,893	2,900
27,6,2017 14:58:40	-6413,7	6980,7	1052,5	87405,0	1229,2	28,097	2,844
27,6,2017 14:58:40	-6420,7	6988,3	1052,8	87405,0	1229,2	27,559	2,819
27,6,2017 14:58:40	-6471,7	7043,8	1054,0	87398,4	1229,9	28,189	2,814

27,6,2017 14:58:40	-6591,8	7174,5	1047,7	87407,4	1229,0	29,068	2,989
27,6,2017 14:58:40	-6619,7	7204,9	1043,0	87416,1	1228,2	28,271	2,782
27,6,2017 14:58:40	-6609,1	7193,4	1042,9	87408,9	1228,9	28,737	2,933
27,6,2017 14:58:41	-6614,8	7199,6	1040,5	87412,5	1228,5	28,218	2,962
27,6,2017 14:58:41	-6529,0	7106,2	1039,2	87417,2	1228,1	29,027	2,971
27,6,2017 14:58:41	-6471,8	7043,9	1037,6	87419,3	1227,9	28,142	2,793
27,6,2017 14:58:41	-6526,2	7103,1	1039,1	87422,5	1227,6	27,954	2,894
27,6,2017 14:58:41	-6522,4	7099,0	1038,7	87427,2	1227,2	28,971	2,929
27,6,2017 14:58:41	-6479,5	7052,3	1037,7	87429,2	1227,0	27,699	2,816
27,6,2017 14:58:41	-6522,1	7098,6	1040,0	87429,2	1227,0	28,421	2,839
27,6,2017 14:58:41	-6560,1	7140,0	1038,6	87436,5	1226,3	27,763	2,900
27,6,2017 14:58:41	-6600,0	7183,4	1037,3	87442,0	1225,8	28,944	2,928
27,6,2017 14:58:41	-6570,9	7151,7	1036,3	87450,6	1225,0	27,116	2,825
27,6,2017 14:58:42	-6517,1	7093,3	1035,7	87454,1	1224,6	28,607	2,927
27,6,2017 14:58:42	-6543,3	7121,7	1033,6	87459,7	1224,1	27,817	2,869
27,6,2017 14:58:42	-6524,4	7101,2	1036,6	87463,3	1223,8	28,265	2,897
Průměrné	-6505,3	7080,4	1049,8	87418,5	1228,0	28,115	2,870

M2_29_201 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-27	12:58:39	211,7	114,3	16,3
2017-06-27	12:58:40	201,5	108,8	16,3
2017-06-27	12:58:41	197,6	106,7	16,3
2017-06-27	12:58:42	193,5	104,5	16,3
	Průměrné	201,1	108,6	16,3

M3_29_198 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
27,6,2017 14:59:10	-6403,0	6969,0	1055,3	87633,9	1207,8	27,523	2,821
27,6,2017 14:59:10	-6496,3	7070,6	1054,0	87637,4	1207,5	28,726	2,918
27,6,2017 14:59:10	-6635,1	7221,6	1053,2	87635,8	1207,6	28,049	2,869
27,6,2017 14:59:10	-6719,6	7313,6	1051,3	87641,0	1207,1	29,090	2,955
27,6,2017 14:59:10	-6688,8	7280,1	1047,8	87650,0	1206,3	27,978	2,928
27,6,2017 14:59:10	-6697,2	7289,2	1046,7	87655,7	1205,7	28,784	2,985
27,6,2017 14:59:10	-6629,3	7215,3	1048,3	87655,4	1205,8	28,651	2,935
27,6,2017 14:59:10	-6668,5	7258,0	1048,3	87666,1	1204,8	28,059	2,864
27,6,2017 14:59:10	-6701,5	7293,9	1047,7	87672,1	1204,2	29,287	2,983
27,6,2017 14:59:10	-6703,1	7295,7	1046,2	87676,3	1203,8	28,068	2,819
27,6,2017 14:59:11	-6615,7	7200,5	1045,6	87673,4	1204,1	28,230	2,834
27,6,2017 14:59:11	-6524,2	7100,9	1043,6	87681,1	1203,4	28,494	2,881
27,6,2017 14:59:11	-6519,7	7096,0	1045,0	87681,4	1203,3	28,287	2,893
27,6,2017 14:59:11	-6652,7	7240,8	1044,1	87689,3	1202,6	28,113	2,864
27,6,2017 14:59:11	-6702,5	7295,0	1045,4	87692,1	1202,3	28,972	3,011

Přílohy

27,6,2017 14:59:11	-6675,8	7265,9	1045,7	87697,4	1201,8	29,216	2,898
27,6,2017 14:59:11	-6579,2	7160,8	1043,5	87697,3	1201,8	27,845	2,867
27,6,2017 14:59:11	-6607,8	7191,9	1043,0	87701,9	1201,4	27,855	2,854
27,6,2017 14:59:11	-6639,4	7226,4	1044,1	87707,3	1200,9	28,890	2,900
27,6,2017 14:59:11	-6625,6	7211,3	1043,5	87712,3	1200,4	29,005	2,939
27,6,2017 14:59:12	-6624,9	7210,6	1043,2	87714,3	1200,3	28,815	3,014
27,6,2017 14:59:12	-6632,9	7219,3	1043,1	87721,5	1199,6	28,932	2,860
27,6,2017 14:59:12	-6654,3	7242,5	1044,3	87723,6	1199,4	29,019	2,933
27,6,2017 14:59:12	-6642,8	7230,0	1045,2	87726,1	1199,1	27,893	2,927
27,6,2017 14:59:12	-6609,7	7194,0	1046,0	87732,4	1198,6	29,019	2,906
27,6,2017 14:59:12	-6561,1	7141,2	1047,5	87736,1	1198,2	28,016	2,862
27,6,2017 14:59:12	-6529,3	7106,5	1047,8	87739,1	1197,9	28,273	2,948
27,6,2017 14:59:12	-6576,5	7157,8	1046,9	87742,8	1197,6	27,884	2,828
Průměrné:	-6618,4	7203,5	1046,7	87689,0	1202,6	28,463	2,903

M3_29_198 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-27	12:59:09	204,5	110,4	16,3
2017-06-27	12:59:10	200,2	108,1	16,3
2017-06-27	12:59:11	196,3	106	16,3
2017-06-27	12:59:12	190,6	102,9	16,3
	Průměrné	197,9	106,9	16,3

M4_34_240 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	N [-]
27,6,2017 15:00:40	-7677,5	8356,2	1248,4	89027,5	1078,1	33,496	3,426
27,6,2017 15:00:40	-7651,2	8327,6	1245,8	89023,8	1078,5	33,530	3,534
27,6,2017 15:00:40	-7745,4	8430,1	1246,6	89021,5	1078,7	32,510	3,347
27,6,2017 15:00:40	-7700,8	8381,5	1238,2	89022,7	1078,6	33,249	3,365
27,6,2017 15:00:40	-7727,0	8410,1	1234,9	89017,1	1079,1	33,375	3,413
27,6,2017 15:00:40	-7741,0	8425,3	1233,0	89015,7	1079,2	33,367	3,322
27,6,2017 15:00:41	-7700,7	8381,4	1230,8	89012,2	1079,5	33,697	3,530
27,6,2017 15:00:41	-7846,0	8539,6	1228,1	89016,8	1079,1	34,778	3,531
27,6,2017 15:00:41	-7854,8	8549,1	1223,5	89017,1	1079,1	33,325	3,388
27,6,2017 15:00:41	-7761,2	8447,3	1219,2	89016,5	1079,1	33,921	3,456
27,6,2017 15:00:41	-7634,2	8309,1	1219,3	89010,6	1079,7	33,015	3,293
27,6,2017 15:00:41	-7639,2	8314,5	1216,2	89011,7	1079,6	33,263	3,455
27,6,2017 15:00:41	-7745,7	8430,4	1213,8	89015,4	1079,2	33,040	3,375
27,6,2017 15:00:41	-7739,1	8423,2	1212,8	89016,8	1079,1	33,735	3,349
27,6,2017 15:00:41	-7710,5	8392,1	1210,6	89015,8	1079,2	32,024	3,330
27,6,2017 15:00:41	-7820,7	8512,1	1206,3	89028,5	1078,0	34,564	3,465
27,6,2017 15:00:42	-7867,8	8563,3	1207,3	89019,9	1078,8	33,820	3,384
Průměrné:	-7739,0	8423,1	1225,6	89018,2	1079,0	33,453	3,410

M4_34_240 – Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-27	13:00:40	244,8	132,2	16,5
2017-06-27	13:00:41	234,8	126,8	16,5
	Průměrné	239,8	129,5	16,5

M5_00_217 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
27,6,2017 15:01:08	-167,2	182,0	1150,8	88857,9	1093,8	-0,004	0,063
27,6,2017 15:01:09	-189,9	206,7	1147,4	88843,0	1095,2	0,768	0,094
27,6,2017 15:01:09	-180,8	196,7	1142,6	88836,4	1095,8	0,778	0,107
27,6,2017 15:01:09	-151,7	165,1	1137,0	88822,2	1097,1	0,248	0,007
27,6,2017 15:01:09	-155,8	169,5	1131,9	88819,2	1097,4	0,801	0,073
27,6,2017 15:01:09	-130,2	141,7	1129,9	88808,6	1098,4	0,466	0,007
27,6,2017 15:01:09	-118,1	128,6	1128,2	88800,5	1099,1	-0,095	-0,038
27,6,2017 15:01:09	-163,7	178,2	1124,6	88789,4	1100,2	0,673	0,083
27,6,2017 15:01:09	-182,5	198,7	1123,9	88777,8	1101,2	0,974	0,096
27,6,2017 15:01:09	-130,4	141,9	1118,2	88778,8	1101,1	0,660	0,058
27,6,2017 15:01:09	-57,0	62,0	1116,4	88772,1	1101,8	1,329	0,050
27,6,2017 15:01:10	-151,9	165,4	1116,0	88764,8	1102,4	0,248	-0,042
27,6,2017 15:01:10	-267,8	291,5	1114,0	88761,3	1102,8	0,364	0,007
27,6,2017 15:01:10	-235,1	255,9	1114,0	88756,8	1103,2	1,364	0,109
27,6,2017 15:01:10	-275,8	300,1	1112,9	88757,9	1103,1	0,570	0,031
27,6,2017 15:01:10	-124,5	135,5	1113,9	88753,8	1103,5	0,234	0,043
27,6,2017 15:01:10	-206,8	225,1	1114,9	88751,8	1103,6	0,468	0,088
27,6,2017 15:01:10	-186,8	203,3	1112,9	88755,0	1103,3	0,429	-0,048
27,6,2017 15:01:10	-122,9	133,8	1110,9	88760,3	1102,9	0,729	0,116
27,6,2017 15:01:10	-175,4	190,9	1116,4	88754,0	1103,4	0,210	0,058
27,6,2017 15:01:10	-146,0	158,9	1118,9	88757,6	1103,1	0,960	0,125
27,6,2017 15:01:11	-127,8	139,1	1122,1	88760,2	1102,9	0,158	0,003
27,6,2017 15:01:11	-124,8	135,8	1123,2	88765,2	1102,4	0,208	0,060
27,6,2017 15:01:11	-224,2	244,1	1127,4	88773,3	1101,7	0,438	0,094
27,6,2017 15:01:11	-160,8	175,0	1132,7	88776,8	1101,3	0,465	0,102
27,6,2017 15:01:11	-122,8	133,7	1135,7	88784,3	1100,6	0,035	0,100
27,6,2017 15:01:11	-88,6	96,5	1141,9	88786,2	1100,5	0,079	-0,058
27,6,2017 15:01:11	-138,9	151,2	1149,2	88793,3	1099,8	0,828	0,175
27,6,2017 15:01:11	-177,5	193,2	1151,5	88807,2	1098,5	0,881	0,000
Průměrné:	-161,6	175,9	1126,9	88783,6	1100,7	0,526	0,054

M5_00_217 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-27	13:01:09	231,3	124,9	17

Přílohy

2017-06-27	13:01:10	212,4	114,7	17
2017-06-27	13:01:11	206,5	111,5	17
	Průměrné	216,7	117,0	17

M6_18_230 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
28,6,2017 10:27:13	-4359,9	4745,3	1304,6	86791,6	1287,0	18,410	1,846
28,6,2017 10:27:13	-4413,3	4803,4	1305,2	86792,5	1286,9	17,569	1,867
28,6,2017 10:27:13	-4507,0	4905,4	1304,5	86794,8	1286,7	15,772	1,727
28,6,2017 10:27:13	-4528,9	4929,3	1303,0	86803,8	1285,8	19,059	1,925
28,6,2017 10:27:13	-4577,1	4981,8	1302,4	86808,3	1285,4	17,524	1,905
28,6,2017 10:27:13	-4571,4	4975,6	1301,8	86809,5	1285,3	17,709	1,778
28,6,2017 10:27:14	-4569,5	4973,5	1301,9	86811,2	1285,1	18,960	2,040
28,6,2017 10:27:14	-4592,8	4998,8	1301,5	86810,9	1285,1	18,335	1,901
28,6,2017 10:27:14	-4577,3	4982,0	1300,1	86815,8	1284,7	18,771	2,002
28,6,2017 10:27:14	-4554,5	4957,2	1301,7	86812,3	1285,0	19,872	2,063
28,6,2017 10:27:14	-4529,6	4930,0	1301,2	86813,1	1284,9	16,082	1,764
28,6,2017 10:27:14	-4555,8	4958,5	1301,4	86814,4	1284,8	17,518	1,744
28,6,2017 10:27:14	-4539,7	4941,0	1300,8	86816,5	1284,6	18,920	1,916
28,6,2017 10:27:14	-4503,5	4901,6	1300,0	86820,9	1284,2	18,242	1,762
28,6,2017 10:27:14	-4528,8	4929,1	1299,7	86819,2	1284,4	19,110	2,004
28,6,2017 10:27:14	-4553,1	4955,6	1299,8	86815,9	1284,7	18,530	1,815
28,6,2017 10:27:15	-4579,4	4984,2	1298,2	86819,7	1284,3	16,508	1,738
28,6,2017 10:27:15	-4547,9	4949,9	1298,7	86816,2	1284,6	18,699	1,976
28,6,2017 10:27:15	-4492,8	4889,9	1298,4	86817,4	1284,5	17,405	1,726
28,6,2017 10:27:15	-4479,7	4875,7	1297,3	86819,1	1284,4	19,093	2,004
28,6,2017 10:27:15	-4446,7	4839,8	1297,8	86810,7	1285,2	18,109	1,728
28,6,2017 10:27:15	-4387,6	4775,5	1296,5	86814,7	1284,8	17,015	1,666
28,6,2017 10:27:15	-4352,9	4737,7	1296,5	86808,6	1285,4	18,128	1,802
28,6,2017 10:27:15	-4419,4	4810,1	1296,0	86807,4	1285,5	17,134	1,690
28,6,2017 10:27:15	-4428,4	4819,8	1294,4	86811,1	1285,1	19,505	1,873
28,6,2017 10:27:15	-4502,1	4900,0	1293,0	86811,5	1285,1	16,228	1,695
28,6,2017 10:27:16	-4540,8	4942,3	1291,8	86810,8	1285,1	17,964	1,878
28,6,2017 10:27:16	-4593,0	4999,1	1289,3	86816,4	1284,6	18,462	1,871
28,6,2017 10:27:16	-4629,0	5038,3	1288,0	86811,4	1285,1	18,727	1,979
28,6,2017 10:27:16	-4630,6	5040,0	1286,2	86814,2	1284,8	18,371	1,816
28,6,2017 10:27:16	-4633,3	5042,9	1284,7	86812,1	1285,0	19,250	1,891
28,6,2017 10:27:16	-4633,5	5043,1	1283,0	86810,6	1285,2	17,459	1,737
28,6,2017 10:27:16	-4630,3	5039,6	1282,2	86806,4	1285,6	18,812	1,882
28,6,2017 10:27:16	-4626,4	5035,3	1279,3	86811,6	1285,1	18,400	1,832
28,6,2017 10:27:16	-4616,9	5025,0	1278,8	86805,2	1285,7	18,876	2,005
28,6,2017 10:27:16	-4597,0	5003,4	1276,7	86803,0	1285,9	18,269	1,802
28,6,2017 10:27:17	-4545,3	4947,2	1277,1	86794,4	1286,7	18,661	1,896
28,6,2017 10:27:17	-4504,3	4902,5	1275,7	86790,1	1287,1	17,998	1,803

Průměrné:	-4533,7	4934,5	1294,5	86809,8	1285,2	18,144	1,851
------------------	----------------	---------------	---------------	----------------	---------------	---------------	--------------

M6_18_230 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-28	10:27:13	229,1	123,7	18,9
2017-06-28	10:27:14	230,2	124,3	18,9
2017-06-28	10:27:15	231,3	124,9	18,9
2017-06-28	10:27:16	231,1	124,8	18,9
	Průměrné	230,4	124,4	18,9

M7_19_201 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
28,6,2017 10:27:49	-4743,0	5162,3	1129,0	86532,8	1311,4	19,240	1,857
28,6,2017 10:27:49	-4662,6	5074,8	1131,1	86521,9	1312,4	17,298	1,789
28,6,2017 10:27:49	-4641,2	5051,4	1131,4	86521,2	1312,5	18,460	1,839
28,6,2017 10:27:49	-4677,9	5091,4	1131,4	86521,7	1312,5	17,702	1,837
28,6,2017 10:27:49	-4772,8	5194,8	1131,0	86523,8	1312,3	18,752	1,997
28,6,2017 10:27:49	-4862,7	5292,6	1130,2	86529,5	1311,7	18,745	1,862
28,6,2017 10:27:49	-4946,0	5383,2	1127,5	86539,7	1310,8	19,324	2,016
28,6,2017 10:27:50	-5024,0	5468,1	1126,1	86544,0	1310,4	19,657	1,976
28,6,2017 10:27:50	-5078,3	5527,3	1126,4	86543,8	1310,4	19,297	1,985
28,6,2017 10:27:50	-5103,0	5554,1	1125,6	86544,2	1310,3	19,733	2,093
28,6,2017 10:27:50	-5081,8	5531,1	1125,5	86546,1	1310,2	20,635	2,137
28,6,2017 10:27:50	-5077,2	5526,1	1126,1	86543,8	1310,4	19,184	2,043
28,6,2017 10:27:50	-5078,6	5527,5	1125,0	86548,5	1309,9	20,010	2,049
28,6,2017 10:27:50	-5022,2	5466,1	1124,2	86551,5	1309,6	20,188	2,063
28,6,2017 10:27:50	-4951,8	5389,6	1125,5	86545,6	1310,2	19,352	2,019
28,6,2017 10:27:50	-4962,2	5400,8	1124,8	86550,8	1309,7	19,717	1,932
28,6,2017 10:27:50	-4973,3	5412,9	1125,9	86547,0	1310,1	18,978	1,979
28,6,2017 10:27:51	-4950,7	5388,4	1124,2	86550,6	1309,7	19,220	2,000
28,6,2017 10:27:51	-4872,8	5303,6	1125,5	86543,5	1310,4	18,798	1,915
28,6,2017 10:27:51	-4819,8	5245,9	1127,2	86539,1	1310,8	18,568	1,870
28,6,2017 10:27:51	-4833,4	5260,6	1126,7	86543,2	1310,4	18,259	1,917
28,6,2017 10:27:51	-4841,5	5269,5	1125,5	86547,7	1310,0	18,944	1,944
28,6,2017 10:27:51	-4857,6	5287,0	1126,4	86546,5	1310,1	19,073	1,881
28,6,2017 10:27:51	-4914,8	5349,3	1125,9	86549,0	1309,9	19,991	2,046
28,6,2017 10:27:51	-4997,4	5439,2	1125,2	86550,2	1309,8	18,781	2,000
28,6,2017 10:27:51	-5051,6	5498,2	1124,5	86552,3	1309,6	20,724	2,108
28,6,2017 10:27:51	-5096,4	5546,9	1123,2	86558,9	1308,9	20,137	2,142
28,6,2017 10:27:52	-5132,8	5586,5	1122,2	86563,6	1308,5	19,702	1,932
28,6,2017 10:27:52	-5155,7	5611,5	1121,4	86564,6	1308,4	19,782	2,048
28,6,2017 10:27:52	-5128,7	5582,1	1121,3	86565,8	1308,3	19,876	2,081
28,6,2017 10:27:52	-5114,4	5566,6	1121,5	86563,5	1308,5	20,427	2,120

28,6,2017 10:27:52	-5082,2	5531,5	1120,9	86565,3	1308,3	19,201	2,079
28,6,2017 10:27:52	-5031,6	5476,4	1121,8	86561,5	1308,7	19,490	2,134
28,6,2017 10:27:52	-5016,8	5460,3	1122,7	86556,4	1309,2	20,609	2,001
28,6,2017 10:27:52	-4964,5	5403,3	1121,2	86559,9	1308,8	19,373	2,060
28,6,2017 10:27:52	-4929,2	5364,9	1122,1	86554,9	1309,3	20,094	1,939
28,6,2017 10:27:52	-4930,6	5366,5	1122,1	86555,3	1309,3	18,489	1,961
28,6,2017 10:27:53	-4930,5	5366,3	1121,2	86557,0	1309,1	19,042	1,909
28,6,2017 10:27:53	-4891,3	5323,7	1120,5	86559,7	1308,9	19,740	2,015
28,6,2017 10:27:53	-4833,5	5260,8	1120,5	86555,6	1309,3	19,280	1,992
28,6,2017 10:27:53	-4795,9	5219,9	1120,9	86552,0	1309,6	19,001	1,917
28,6,2017 10:27:53	-4731,8	5150,1	1120,8	86549,5	1309,8	18,998	1,940
28,6,2017 10:27:53	-4680,6	5094,3	1121,1	86548,7	1309,9	18,191	1,878
28,6,2017 10:27:53	-4635,3	5045,1	1121,3	86545,3	1310,2	18,291	1,701
28,6,2017 10:27:53	-4654,1	5065,6	1121,6	86542,7	1310,5	18,260	1,924
28,6,2017 10:27:53	-4730,6	5148,8	1120,8	86544,6	1310,3	17,523	1,796
28,6,2017 10:27:53	-4759,4	5180,1	1118,8	86548,6	1309,9	18,413	1,873
28,6,2017 10:27:54	-4730,1	5148,3	1118,3	86548,6	1309,9	19,176	1,981
28,6,2017 10:27:54	-4667,5	5080,1	1118,3	86543,2	1310,4	18,248	1,856
28,6,2017 10:27:54	-4617,1	5025,3	1119,5	86536,6	1311,1	17,853	1,817
28,6,2017 10:27:54	-4598,1	5004,6	1118,4	86541,2	1310,6	18,411	1,839
28,6,2017 10:27:54	-4560,6	4963,7	1118,9	86534,9	1311,2	17,840	1,812
28,6,2017 10:27:54	-4539,2	4940,5	1119,7	86529,5	1311,7	16,452	1,773
28,6,2017 10:27:54	-4575,9	4980,4	1118,2	86535,6	1311,1	18,322	1,773
28,6,2017 10:27:54	-4647,0	5057,7	1117,2	86535,2	1311,2	18,115	1,864
28,6,2017 10:27:54	-4740,7	5159,7	1116,5	86537,2	1311,0	18,767	1,819
28,6,2017 10:27:54	-4856,9	5286,2	1113,7	86544,8	1310,3	18,760	1,897
28,6,2017 10:27:55	-4976,7	5416,7	1111,6	86546,4	1310,1	20,017	1,999
28,6,2017 10:27:55	-5064,1	5511,7	1107,7	86555,2	1309,3	20,037	1,968
28,6,2017 10:27:55	-5081,9	5531,1	1106,9	86552,8	1309,5	20,309	2,079
Průměrné:	-4878,0	5309,2	1122,5	86546,5	1310,1	19,081	1,951

M7_19_201 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-28	10:27:49	202,8	109,5	19,2
2017-06-28	10:27:50	201,5	108,8	19,2
2017-06-28	10:27:51	200,4	108,2	19,2
2017-06-28	10:27:52	200,0	108,0	19,2
2017-06-28	10:27:53	199,6	108,6	19,2
2017-06-28	10:27:54	198,9	108,4	19,2
	Průměrné	200,5	108,6	19,2

M8_28_200 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]

28,6,2017 10:28:26	-6746,4	7342,8	1094,4	86741,4	1291,7	26,966	2,766
28,6,2017 10:28:27	-6775,1	7374,0	1090,9	86740,6	1291,8	26,956	2,743
28,6,2017 10:28:27	-6816,1	7418,7	1088,2	86736,0	1292,2	27,414	2,762
28,6,2017 10:28:27	-6892,5	7501,8	1084,2	86736,0	1292,2	27,658	2,901
28,6,2017 10:28:27	-6950,1	7564,5	1080,8	86733,1	1292,5	27,811	2,784
28,6,2017 10:28:27	-6994,2	7612,5	1076,9	86731,3	1292,6	28,361	2,881
28,6,2017 10:28:27	-7030,5	7652,0	1073,3	86732,5	1292,5	27,634	2,899
28,6,2017 10:28:27	-7048,7	7671,8	1070,2	86729,7	1292,8	28,417	2,802
28,6,2017 10:28:27	-7061,8	7686,1	1068,0	86722,6	1293,5	28,939	2,948
28,6,2017 10:28:27	-7056,7	7680,5	1062,9	86728,6	1292,9	28,152	2,853
28,6,2017 10:28:27	-7042,1	7664,7	1060,9	86721,8	1293,5	28,495	2,917
28,6,2017 10:28:28	-7039,2	7661,5	1059,4	86714,2	1294,3	28,438	2,869
28,6,2017 10:28:28	-7007,2	7626,6	1055,1	86715,7	1294,1	28,895	2,990
28,6,2017 10:28:28	-6986,0	7603,5	1052,6	86712,8	1294,4	27,668	2,882
28,6,2017 10:28:28	-6959,6	7574,9	1049,3	86715,4	1294,2	28,289	2,867
28,6,2017 10:28:28	-6929,5	7542,1	1047,6	86707,3	1294,9	28,125	2,843
28,6,2017 10:28:28	-6910,5	7521,4	1044,1	86708,0	1294,9	27,957	2,887
28,6,2017 10:28:28	-6874,7	7482,4	1042,3	86702,1	1295,4	27,692	2,807
28,6,2017 10:28:28	-6863,0	7469,7	1040,2	86697,8	1295,8	27,278	2,813
28,6,2017 10:28:28	-6831,0	7434,8	1037,4	86697,2	1295,9	28,562	2,845
28,6,2017 10:28:28	-6816,5	7419,1	1035,0	86697,1	1295,9	26,715	2,812
28,6,2017 10:28:29	-6774,8	7373,7	1032,4	86693,8	1296,2	26,922	2,805
28,6,2017 10:28:29	-6741,2	7337,1	1030,9	86691,9	1296,4	27,646	2,709
28,6,2017 10:28:29	-6721,6	7315,8	1028,7	86687,9	1296,7	27,075	2,849
28,6,2017 10:28:29	-6705,7	7298,5	1025,8	86689,4	1296,6	27,142	2,719
28,6,2017 10:28:29	-6713,8	7307,3	1023,0	86687,7	1296,8	26,301	2,723
28,6,2017 10:28:29	-6719,6	7313,6	1021,2	86682,3	1297,3	27,252	2,760
28,6,2017 10:28:29	-6723,3	7317,6	1018,7	86685,8	1296,9	27,011	2,750
Průměrné:	-6883,3	7491,7	1053,4	86712,2	1294,5	27,706	2,828

M8_28_200 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-28	10:28:27	210,2	113,5	18,9
2017-06-28	10:28:28	202,8	109,5	19,1
2017-06-28	10:28:29	196,9	106,3	19,2
2017-06-28	10:28:30	190,0	102,6	19,2
	Průměrné	200,0	108,0	19,1

M9_31_222 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
28,6,2017 10:30:58	-7417,4	8073,1	1198,7	89016,4	1079,1	29,842	2,994
28,6,2017 10:30:58	-7387,6	8040,7	1199,6	89016,1	1079,2	29,141	3,048
28,6,2017 10:30:58	-7392,0	8045,5	1202,4	89012,9	1079,5	29,792	3,129

Přílohy

28,6,2017 10:30:58	-7349,9	7999,6	1199,7	89021,0	1078,7	29,138	3,070
28,6,2017 10:30:59	-7441,5	8099,4	1198,1	89024,8	1078,4	30,357	3,004
28,6,2017 10:30:59	-7410,8	8065,9	1196,9	89034,7	1077,5	30,635	3,246
28,6,2017 10:30:59	-7401,7	8056,0	1198,3	89037,4	1077,2	29,741	3,106
28,6,2017 10:30:59	-7371,3	8022,9	1197,9	89035,1	1077,4	30,427	3,104
28,6,2017 10:30:59	-7360,1	8010,7	1197,0	89034,2	1077,5	29,987	2,978
28,6,2017 10:30:59	-7359,6	8010,1	1197,2	89036,0	1077,3	29,707	3,109
28,6,2017 10:30:59	-7362,0	8012,8	1194,2	89044,0	1076,6	29,988	3,097
28,6,2017 10:30:59	-7383,8	8036,5	1193,9	89046,9	1076,3	30,241	2,957
28,6,2017 10:30:59	-7379,2	8031,5	1195,1	89041,5	1076,8	29,415	3,058
28,6,2017 10:30:59	-7391,1	8044,5	1193,9	89050,1	1076,0	31,586	3,127
28,6,2017 10:31:00	-7407,3	8062,1	1193,8	89050,9	1076,0	30,186	3,089
28,6,2017 10:31:00	-7409,6	8064,6	1194,9	89048,1	1076,2	30,289	3,088
28,6,2017 10:31:00	-7373,7	8025,6	1194,9	89048,0	1076,2	29,738	3,056
Průměrné:	-7388,1	8041,3	1196,9	89035,2	1077,4	30,0	3,1

M9_31_222 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-28	10:30:58	224,1	121,0	19,7
2017-06-28	10:30:59	222,8	120,3	19,8
2017-06-28	10:31:00	219,8	118,7	19,8
	Průměrné	222,2	120,0	19,8

M10_01_197 - Minitaur							
Time [-]	Strains [um/m]	Mo [N/m]	dp [Pa]	pst [Pa]	Hp [m]	Acc Z/IIR filter [-]	n [-]
28,6,2017 10:29:56	-594,4	647,0	1082,6	87693,5	1202,2	2,796	0,282
28,6,2017 10:29:56	-581,5	632,9	1083,1	87689,4	1202,6	2,325	0,248
28,6,2017 10:29:56	-577,8	628,8	1082,9	87689,5	1202,6	1,854	0,279
28,6,2017 10:29:56	-571,1	621,6	1083,0	87691,8	1202,4	1,757	0,116
28,6,2017 10:29:56	-538,2	585,8	1085,7	87683,6	1203,1	0,651	0,065
28,6,2017 10:29:56	-520,8	566,8	1085,9	87688,9	1202,6	2,100	0,109
28,6,2017 10:29:57	-506,9	551,8	1088,2	87686,8	1202,8	1,417	0,201
28,6,2017 10:29:57	-506,6	551,4	1089,5	87691,5	1202,4	1,899	0,214
28,6,2017 10:29:57	-501,9	546,3	1092,3	87691,5	1202,4	1,222	0,059
28,6,2017 10:29:57	-481,5	524,1	1095,6	87692,7	1202,3	1,569	0,177
28,6,2017 10:29:57	-471,2	512,8	1098,6	87693,7	1202,2	1,350	0,055
28,6,2017 10:29:57	-468,3	509,7	1101,5	87700,1	1201,6	1,661	0,218
28,6,2017 10:29:57	-470,0	511,6	1103,7	87707,4	1200,9	2,358	0,215
28,6,2017 10:29:57	-460,5	501,2	1108,6	87709,5	1200,7	1,428	0,232
28,6,2017 10:29:57	-460,1	500,7	1111,2	87720,1	1199,7	0,446	0,097
28,6,2017 10:29:57	-446,6	486,1	1115,4	87727,7	1199,0	0,481	0,137
28,6,2017 10:29:58	-452,0	492,0	1120,2	87733,7	1198,4	0,434	0,063
28,6,2017 10:29:58	-456,4	496,8	1124,8	87742,5	1197,6	2,008	0,074

Přílohy

28,6,2017 10:29:58	-442,2	481,3	1130,4	87748,8	1197,0	1,125	0,199
28,6,2017 10:29:58	-435,7	474,2	1134,8	87761,8	1195,8	1,156	0,018
28,6,2017 10:29:58	-419,7	456,9	1139,8	87773,7	1194,7	0,909	0,123
Průměrné:	-493,5	537,1	1102,7	87710,4	1200,6	1,474	0,151

M10_01_197 - Garmin				
UTC Date (yyyy-mm-dd)	UTC Time (hh:mm:ss)	Indicated Airspeed (km/h)	Indicated Airspeed (kt)	Outside Air Temp (deg C)
2017-06-28	10:29:56	197,2	106,5	19,7
2017-06-28	10:29:57	196,1	105,9	19,8
2017-06-28	10:29:58	198,0	106,9	19,9
	Průměrné	197,1	106,4	19,8

PŘÍLOHA C – Výpočet zatížení

Vyvažovací zatížení na VOP

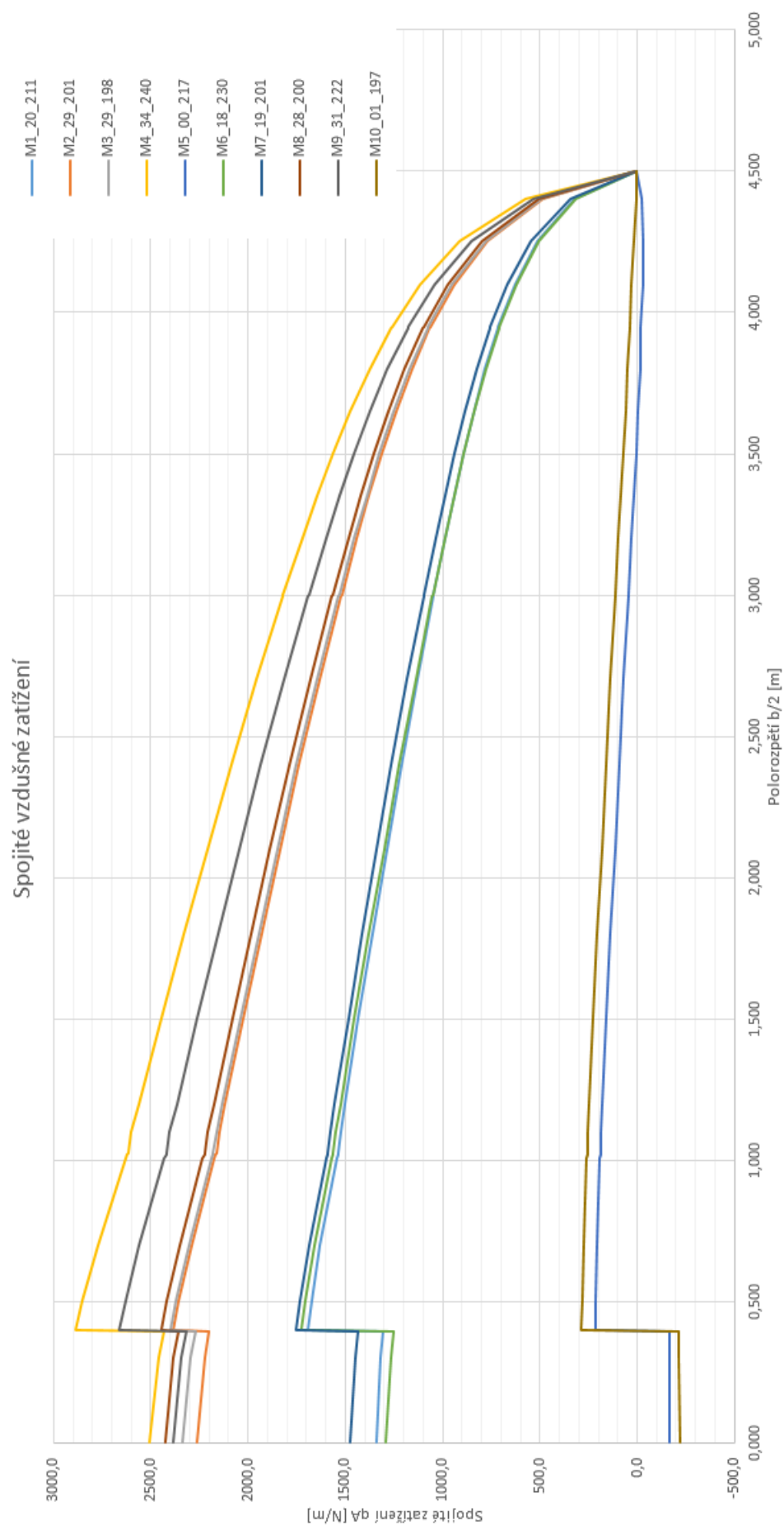
Manévr	n [-]	x_T [%]	$M_{kř}$ [Nm]	M_G [Nm]	M_{oy} [Nm]	F_{VOP} [N]
M1_20_211	1,947	16,25063	-1034,8	-371,4	-1406,2	-382,1
M2_29_201	2,870	16,2582	-940,9	-546,0	-1486,8	-404,0
M3_29_198	2,903	16,2628	-913,8	-551,2	-1465,0	-398,1
M4_34_240	3,410	16,27616	-1362,0	-644,3	-2006,3	-545,2
M5_00_217	0,054	16,28047	-1107,0	-10,2	-1117,2	-303,6
M6_18_230	1,851	24,29024	-1215,0	616,7	-598,4	-162,6
M7_19_201	1,951	24,29746	-916,6	650,7	-265,9	-72,3
M8_28_200	2,828	24,30508	-914,7	944,3	29,7	8,1
M9_31_222	3,023	24,33536	-1156,3	1014,5	-141,8	-38,5
M10_01_197	0,151	24,32292	-896,1	50,6	-845,5	-229,8

Aerodynamické zatížení – Spojité zatížení q

Polorozpětí [m]	Spojitě vzdušné zatížení q_A [N/m]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	1341,9	2260,9	2336,2	2504,0	-167,9
0,300	1318,4	2221,8	2295,8	2460,5	-165,7
0,395	1304,6	2199,1	2272,4	2435,1	-164,7
0,400	1695,5	2383,3	2398,6	2885,3	216,0
0,500	1674,7	2354,5	2369,5	2850,3	212,8
0,700	1628,6	2290,4	2305,2	2772,4	205,4
1,005	1543,8	2173,6	2187,7	2629,9	190,3
1,020	1537,8	2165,3	2179,4	2619,8	189,2
1,025	1536,6	2163,6	2177,7	2617,8	189,0
1,100	1525,5	2149,0	2163,1	2599,7	185,6
1,200	1502,2	2117,9	2131,9	2561,3	179,5
1,500	1432,5	2025,9	2039,6	2447,3	159,5
1,800	1361,5	1932,5	1946,1	2331,4	138,0
2,100	1287,6	1835,8	1849,3	2211,3	115,0
2,400	1212,1	1736,9	1750,2	2088,5	91,7
2,700	1131,9	1631,3	1644,4	1957,5	67,9
2,995	1049,0	1521,6	1534,4	1821,7	44,3
3,000	1047,3	1519,4	1532,2	1819,0	43,9
3,200	988,6	1441,2	1453,7	1722,4	28,4
3,350	941,6	1378,0	1390,3	1644,7	16,7
3,500	892,1	1310,9	1323,0	1562,4	5,7
3,650	839,0	1238,2	1249,9	1473,5	-4,7
3,800	781,4	1158,0	1169,2	1376,0	-13,6

3,945	716,4	1065,6	1076,2	1264,6	-19,8
3,950	714,2	1062,5	1073,1	1260,9	-20,1
4,100	628,6	940,2	949,9	1113,7	-27,3
4,250	512,2	771,0	779,2	911,3	-31,4
4,400	320,4	485,6	490,9	572,6	-25,9
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

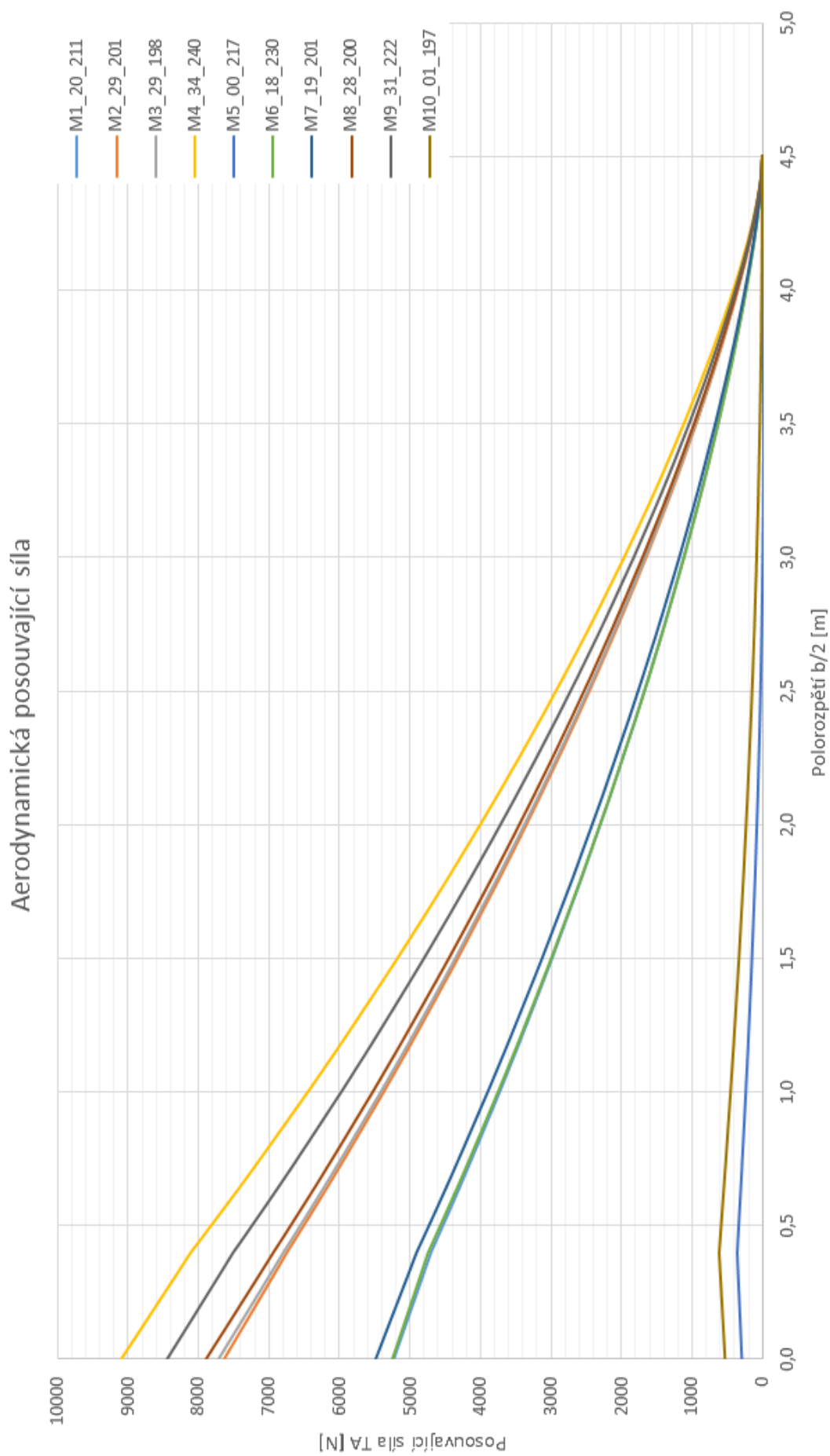
Polorozpětí [m]	Spojité vzdušné zatížení q_A [N/m]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	1290,6	1473,3	2424,9	2382,1	-217,3
0,300	1267,9	1447,6	2383,0	2340,8	-214,2
0,395	1254,5	1432,7	2358,7	2316,8	-212,5
0,400	1723,9	1753,3	2447,1	2664,3	288,5
0,500	1702,7	1732,0	2417,5	2632,0	284,6
0,700	1655,6	1684,5	2351,8	2560,3	275,6
1,005	1568,6	1597,5	2232,0	2429,1	257,9
1,020	1562,5	1591,4	2223,6	2419,9	256,7
1,025	1561,2	1590,1	2221,8	2418,0	256,4
1,100	1549,6	1578,9	2207,0	2401,5	253,1
1,200	1525,4	1555,3	2175,2	2366,4	246,8
1,500	1452,7	1485,1	2081,3	2262,3	226,8
1,800	1378,3	1413,5	1986,1	2156,6	205,4
2,100	1301,0	1339,3	1887,5	2047,1	182,9
2,400	1222,0	1263,4	1786,7	1935,0	160,0
2,700	1138,1	1182,5	1679,0	1815,5	136,2
2,995	1051,7	1098,9	1567,1	1691,5	112,6
3,000	1049,9	1097,2	1564,8	1689,0	112,1
3,200	988,9	1037,7	1484,9	1600,6	96,2
3,350	940,1	990,0	1420,3	1529,4	84,0
3,500	889,0	939,6	1351,7	1453,9	72,1
3,650	834,4	885,2	1277,2	1372,2	60,4
3,800	775,5	825,8	1194,9	1282,4	49,4
3,945	709,8	758,3	1099,9	1179,3	39,9
3,950	707,7	756,1	1096,8	1175,9	39,5
4,100	621,2	667,0	971,0	1039,6	27,7
4,250	504,7	544,9	796,7	851,5	15,8
4,400	314,7	341,9	502,1	535,7	5,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Aerodynamické zatížení – Posouvající síla T

Polorozpětí [m]	Aerodynamická posouvající síla T _A [N]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	5235,1	7632,5	7713,3	9093,8	294,2
0,300	4836,1	6960,1	7018,5	8349,1	344,2
0,395	4711,5	6750,1	6801,5	8116,6	359,9
0,400	4704,0	6738,6	6789,9	8103,3	359,8
0,500	4535,5	6501,7	6551,5	7816,5	338,3
0,700	4205,1	6037,3	6084,0	7254,2	296,5
1,005	3721,3	5356,5	5398,8	6430,4	236,2
1,020	3698,2	5324,0	5366,1	6391,0	233,3
1,025	3690,5	5313,1	5355,2	6377,9	232,4
1,100	3575,7	5151,4	5192,4	6182,2	218,3
1,200	3424,3	4938,1	4977,7	5924,2	200,1
1,500	2984,1	4316,5	4351,9	5172,9	149,2
1,800	2565,0	3722,7	3754,1	4456,1	104,6
2,100	2167,7	3157,5	3184,8	3774,7	66,6
2,400	1792,7	2621,6	2644,9	3129,7	35,6
2,700	1441,1	2116,3	2135,7	2522,8	11,7
2,995	1119,4	1651,3	1666,8	1965,4	-4,9
3,000	1114,2	1643,7	1659,2	1956,3	-5,1
3,200	910,6	1347,6	1360,6	1602,1	-12,3
3,350	765,8	1136,2	1147,3	1349,6	-15,7
3,500	628,3	934,5	943,8	1109,1	-17,4
3,650	498,4	743,3	750,8	881,4	-17,4
3,800	376,9	563,6	569,4	667,7	-16,1
3,945	268,3	402,4	406,6	476,2	-13,6
3,950	264,8	397,1	401,2	469,9	-13,5
4,100	164,0	246,9	249,5	291,8	-10,0
4,250	78,5	118,5	119,8	139,9	-5,6
4,400	16,0	24,3	24,5	28,6	-1,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Polorozpětí [m]	Aerodynamická posovající síla T_A [N]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	5253,8	5485,1	7890,0	8449,7	538,7
0,300	4870,0	5047,0	7168,8	7741,2	603,4
0,395	4750,2	4910,2	6943,6	7520,0	623,7
0,400	4742,8	4902,2	6931,5	7507,5	623,5
0,500	4571,5	4728,0	6688,3	7242,7	594,9
0,700	4235,6	4386,3	6211,4	6723,5	538,9
1,005	3743,9	3885,8	5512,3	5962,6	457,5
1,020	3720,5	3861,9	5478,9	5926,2	453,6
1,025	3712,7	3853,9	5467,8	5914,1	452,3
1,100	3596,0	3735,1	5301,7	5733,4	433,2
1,200	3442,3	3578,4	5082,6	5495,0	408,2
1,500	2995,5	3122,3	4444,1	4800,7	337,2
1,800	2570,9	2687,5	3834,0	4137,9	272,4
2,100	2169,0	2274,6	3253,0	3507,3	214,1
2,400	1790,5	1884,2	2701,9	2910,0	162,7
2,700	1436,5	1517,3	2182,0	2347,4	118,3
2,995	1113,5	1180,8	1703,2	1830,2	81,6
3,000	1108,3	1175,3	1695,4	1821,7	81,0
3,200	904,4	961,8	1390,4	1492,7	60,2
3,350	759,7	809,8	1172,5	1258,0	46,7
3,500	622,5	665,0	964,6	1034,2	35,0
3,650	493,3	528,2	767,5	822,3	25,0
3,800	372,5	399,9	582,1	623,2	16,8
3,945	264,8	285,0	415,7	444,7	10,3
3,950	261,3	281,2	410,2	438,8	10,1
4,100	161,6	174,5	255,1	272,7	5,1
4,250	77,2	83,6	122,5	130,8	1,8
4,400	15,7	17,1	25,1	26,8	0,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Aerodynamické zatížení – Ohybový moment M_o

Polorozpětí [m]	Aerodynamický ohybový moment M_{oA} [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	9884,3	14322,7	14444,8	17148,3	475,5
0,300	8373,6	12133,8	12235,0	14531,8	379,8
0,395	7920,1	11482,6	11578,5	13749,7	346,3
0,400	7896,6	11448,9	11544,5	13709,2	344,5
0,500	7434,6	10786,9	10877,5	12913,2	309,6
0,700	6560,6	9533,0	9613,9	11406,1	246,1
1,005	5351,8	7795,4	7862,8	9319,2	164,9
1,020	5296,1	7715,3	7782,1	9223,0	161,4
1,025	5277,7	7688,7	7755,3	9191,1	160,2
1,100	5005,2	7296,3	7359,7	8720,1	143,3
1,200	4655,2	6791,8	6851,2	8114,8	122,4
1,500	3693,9	5403,6	5451,8	6450,2	70,0
1,800	2861,5	4197,7	4235,9	5005,9	31,9
2,100	2151,6	3165,7	3195,1	3771,3	6,2
2,400	1557,6	2298,9	2320,6	2735,6	-9,1
2,700	1072,5	1588,2	1603,5	1887,8	-16,2
2,995	694,8	1032,5	1042,6	1225,8	-17,2
3,000	689,3	1024,2	1034,3	1215,9	-17,2
3,200	486,8	725,1	732,4	860,1	-15,4
3,350	361,1	538,8	544,3	638,7	-13,3
3,500	256,5	383,5	387,4	454,3	-10,9
3,650	172,0	257,7	260,3	305,1	-8,2
3,800	106,3	159,7	161,3	188,9	-5,7
3,945	59,6	89,6	90,6	105,9	-3,6
3,950	58,2	87,6	88,6	103,6	-3,5
4,100	26,1	39,3	39,8	46,5	-1,7
4,250	7,9	11,9	12,1	14,1	-0,6
4,400	0,8	1,2	1,2	1,4	-0,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Polorozpětí [m]	Aerodynamický ohybový moment M_{0A} [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	9917,7	10347,6	14753,9	15919,0	1087,9
0,300	8399,1	8767,7	12495,1	13490,4	916,6
0,395	7942,2	8294,8	11824,7	12765,5	858,3
0,400	7918,4	8270,2	11790,0	12727,9	855,2
0,500	7452,7	7788,7	11109,0	11990,4	794,2
0,700	6572,0	6877,3	9819,1	10593,8	680,9
1,005	5355,1	5615,8	8031,2	8659,2	528,9
1,020	5299,1	5557,7	7948,8	8570,0	522,1
1,025	5280,5	5538,4	7921,4	8540,4	519,8
1,100	5006,5	5253,8	7517,5	8103,6	486,6
1,200	4654,6	4888,1	6998,3	7542,2	444,5
1,500	3688,9	3883,0	5569,3	5997,8	332,7
1,800	2853,9	3011,6	4327,6	4657,1	241,3
2,100	2142,9	2267,2	3264,5	3510,3	168,3
2,400	1549,0	1643,4	2371,3	2547,7	111,8
2,700	1065,0	1133,2	1638,7	1759,1	69,6
2,995	688,8	735,2	1065,6	1142,9	40,2
3,000	683,3	729,3	1057,1	1133,7	39,8
3,200	482,0	515,6	748,6	802,3	25,6
3,350	357,2	382,7	556,3	596,0	17,6
3,500	253,5	272,1	396,1	424,1	11,5
3,650	169,8	182,6	266,2	284,8	7,0
3,800	104,9	113,0	164,9	176,4	3,9
3,945	58,7	63,4	92,6	99,0	1,9
3,950	57,4	61,9	90,5	96,8	1,8
4,100	25,7	27,8	40,6	43,4	0,7
4,250	7,8	8,4	12,3	13,2	0,2
4,400	0,8	0,9	1,3	1,3	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

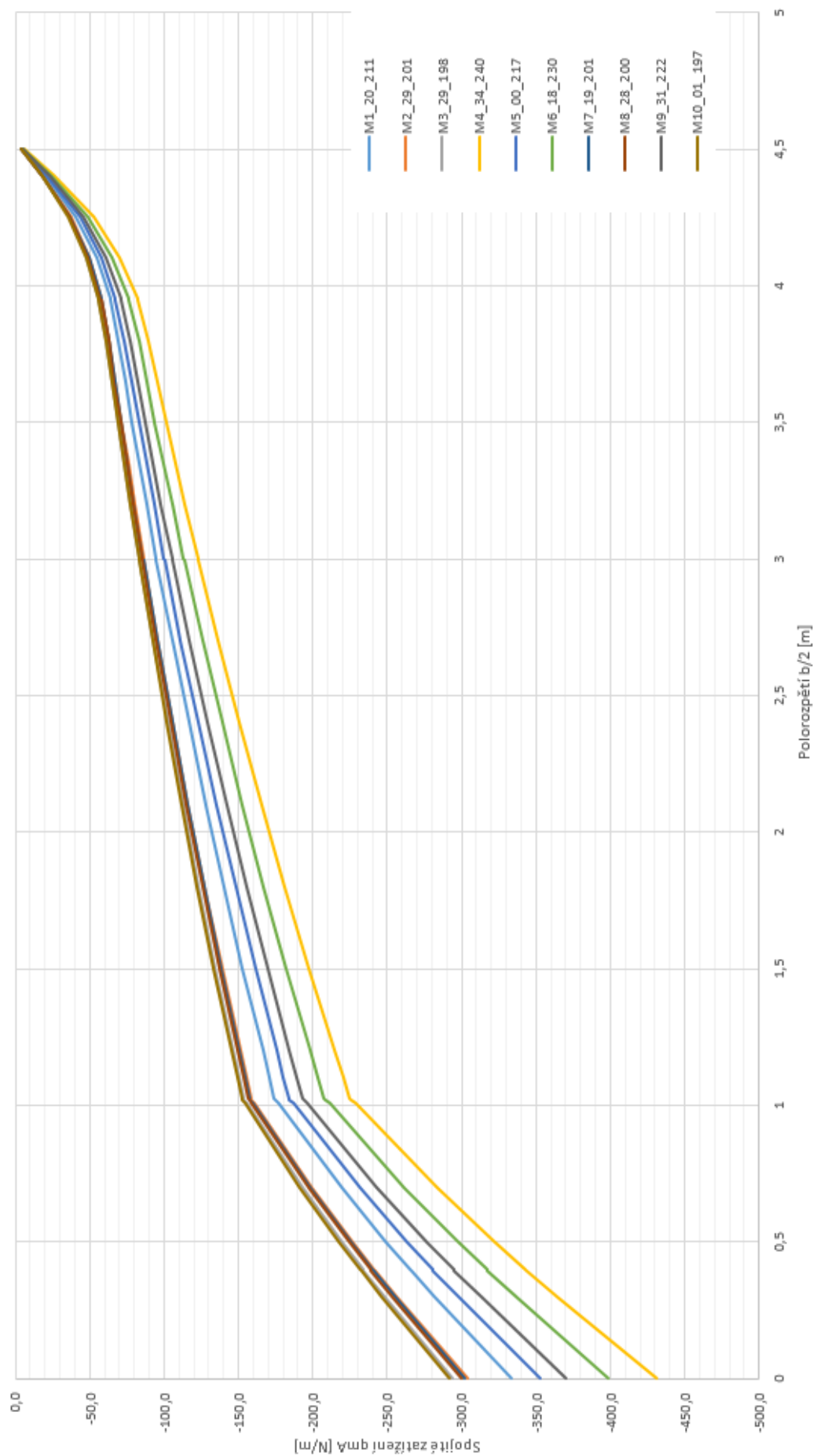
Graf aerodynamického ohybového momentu je zahrnut v hlavní části diplomové práce.

Aerodynamické zatížení – Spojité vzdušné zatížení ve smyslu klopivého momentu q

Polorozpětí [m]	Spojité vzdušné zatížení q_{mA} [N]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	-333,7	-303,4	-293,9	-431,5	-352,3
0,300	-281,8	-256,2	-248,1	-364,3	-297,5
0,395	-266,0	-241,9	-234,2	-343,9	-280,8
0,400	-265,3	-241,3	-233,6	-343,0	-280,1
0,500	-249,4	-226,7	-219,6	-322,4	-263,3
0,700	-219,3	-199,4	-193,1	-283,5	-231,5
1,005	-176,8	-160,7	-155,6	-228,5	-186,6
1,020	-174,6	-158,8	-153,7	-225,7	-184,3
1,025	-174,1	-158,3	-153,3	-225,1	-183,8
1,100	-170,6	-155,1	-150,2	-220,6	-180,1
1,200	-166,1	-151,1	-146,3	-214,8	-175,4
1,500	-152,8	-138,9	-134,5	-197,6	-161,3
1,800	-140,0	-127,3	-123,3	-181,0	-147,8
2,100	-127,8	-116,2	-112,6	-165,3	-135,0
2,400	-116,4	-105,8	-102,5	-150,5	-122,9
2,700	-105,3	-95,7	-92,7	-136,1	-111,2
2,995	-94,9	-86,3	-83,6	-122,7	-100,2
3,000	-94,7	-86,1	-83,4	-122,5	-100,0
3,200	-88,1	-80,1	-77,6	-113,9	-93,0
3,350	-83,2	-75,7	-73,3	-107,6	-87,9
3,500	-78,5	-71,4	-69,1	-101,5	-82,9
3,650	-73,9	-67,2	-65,1	-95,5	-78,0
3,800	-69,4	-63,1	-61,1	-89,8	-73,3
3,945	-63,8	-58,0	-56,2	-82,5	-67,4
3,950	-63,6	-57,9	-56,0	-82,3	-67,2
4,100	-54,4	-49,5	-47,9	-70,4	-57,5
4,250	-40,9	-37,2	-36,0	-52,9	-43,2
4,400	-20,5	-18,6	-18,0	-26,5	-21,6
4,500	-4,5	-4,1	-4,0	-5,9	-4,8

Polorozpětí [m]	Aerodynamický ohybový moment M_{0A} [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	-398,3	-301,6	-300,1	-370,5	-291,5
0,300	-336,3	-254,7	-253,4	-312,8	-246,1
0,395	-317,5	-240,4	-239,2	-295,3	-232,3
0,400	-316,7	-239,8	-238,6	-294,5	-231,8
0,500	-297,6	-225,4	-224,3	-276,8	-217,8
0,700	-261,7	-198,2	-197,2	-243,4	-191,5
1,005	-211,0	-159,8	-159,0	-196,2	-154,4
1,020	-208,4	-157,8	-157,0	-193,8	-152,5
1,025	-207,8	-157,3	-156,5	-193,2	-152,0
1,100	-203,6	-154,2	-153,4	-189,4	-149,0
1,200	-198,3	-150,2	-149,4	-184,4	-145,1
1,500	-182,4	-138,1	-137,4	-169,6	-133,5
1,800	-167,1	-126,6	-125,9	-155,4	-122,3
2,100	-152,6	-115,5	-115,0	-141,9	-111,6
2,400	-138,9	-105,2	-104,7	-129,2	-101,7
2,700	-125,7	-95,2	-94,7	-116,9	-92,0
2,995	-113,3	-85,8	-85,4	-105,4	-82,9
3,000	-113,1	-85,6	-85,2	-105,2	-82,7
3,200	-105,2	-79,7	-79,3	-97,8	-77,0
3,350	-99,4	-75,2	-74,9	-92,4	-72,7
3,500	-93,7	-71,0	-70,6	-87,1	-68,6
3,650	-88,2	-66,8	-66,5	-82,0	-64,5
3,800	-82,9	-62,7	-62,4	-77,1	-60,6
3,945	-76,1	-57,7	-57,4	-70,8	-55,7
3,950	-75,9	-57,5	-57,2	-70,6	-55,6
4,100	-65,0	-49,2	-49,0	-60,4	-47,5
4,250	-48,8	-36,9	-36,8	-45,4	-35,7
4,400	-24,5	-18,5	-18,4	-22,7	-17,9
4,500	-5,4	-4,1	-4,1	-5,0	-4,0

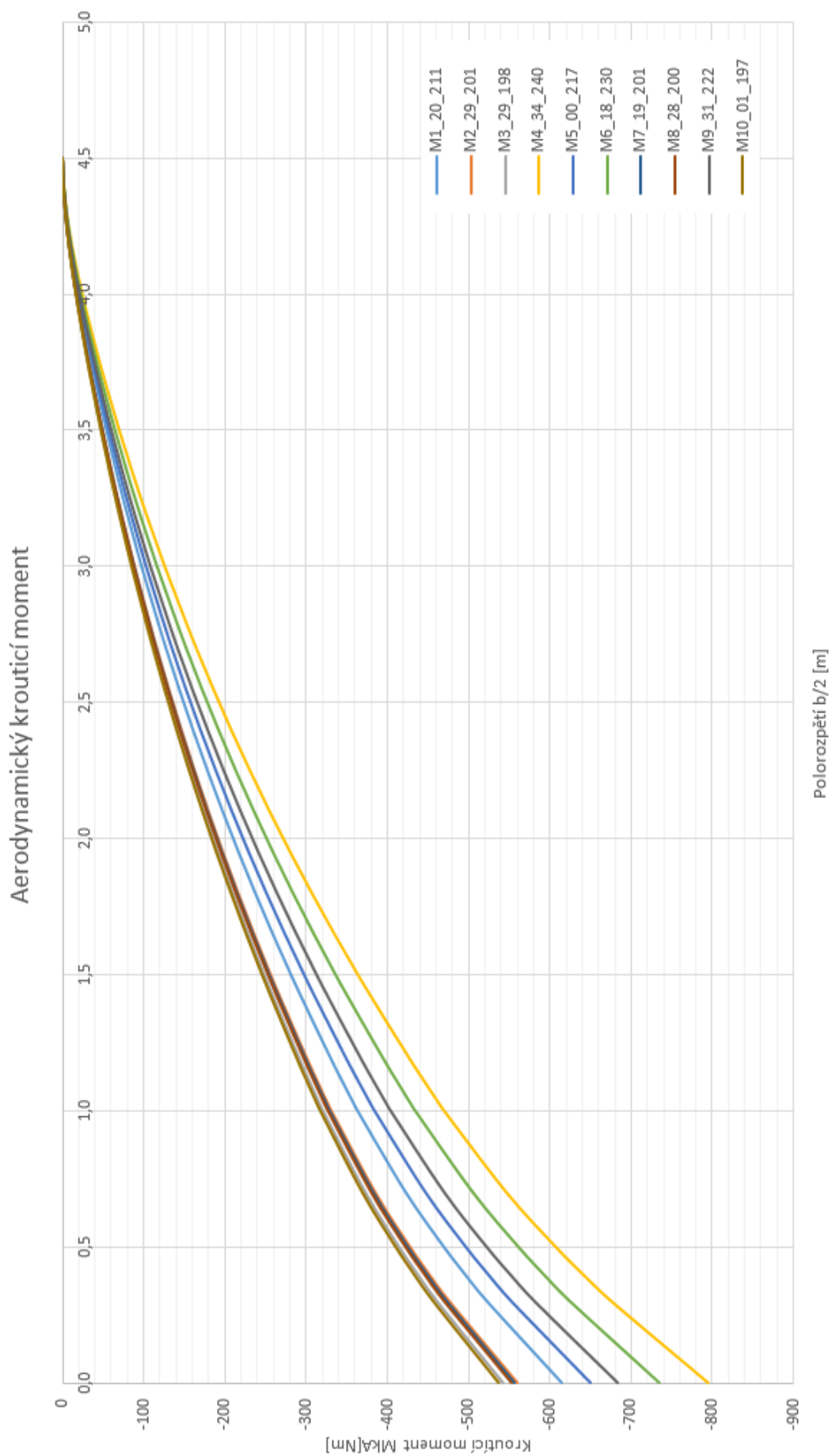
Spojitě vzdušné zatížení ve směru klopivého momentu



Aerodynamické zatížení – Krouticí moment M_k

Polorozpětí [m]	Aerodynamický krouticí moment M_{kA} [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	-615,1	-559,2	-541,6	-795,2	-649,4
0,300	-522,7	-475,3	-460,3	-675,8	-551,9
0,395	-496,7	-451,6	-437,4	-642,2	-524,4
0,400	-495,4	-450,4	-436,2	-640,5	-523,0
0,500	-469,7	-427,0	-413,5	-607,2	-495,8
0,700	-422,8	-384,4	-372,3	-546,6	-446,4
1,005	-362,4	-329,5	-319,1	-468,5	-382,6
1,020	-359,8	-327,1	-316,8	-465,1	-379,8
1,025	-358,9	-326,3	-316,0	-464,0	-378,9
1,100	-346,0	-314,6	-304,6	-447,3	-365,3
1,200	-329,1	-299,2	-289,8	-425,5	-347,5
1,500	-281,3	-255,7	-247,7	-363,7	-297,0
1,800	-237,4	-215,8	-209,0	-306,9	-250,6
2,100	-197,2	-179,3	-173,6	-254,9	-208,2
2,400	-160,5	-146,0	-141,4	-207,6	-169,5
2,700	-127,3	-115,7	-112,1	-164,6	-134,4
2,995	-97,8	-88,9	-86,1	-126,4	-103,2
3,000	-97,3	-88,5	-85,7	-125,8	-102,7
3,200	-79,0	-71,8	-69,6	-102,1	-83,4
3,350	-66,1	-60,1	-58,2	-85,5	-69,8
3,500	-54,0	-49,1	-47,6	-69,8	-57,0
3,650	-42,6	-38,7	-37,5	-55,1	-45,0
3,800	-31,8	-28,9	-28,0	-41,2	-33,6
3,945	-22,2	-20,2	-19,5	-28,7	-23,4
3,950	-21,9	-19,9	-19,2	-28,3	-23,1
4,100	-13,0	-11,8	-11,4	-16,8	-13,7
4,250	-5,9	-5,3	-5,2	-7,6	-6,2
4,400	-1,3	-1,1	-1,1	-1,6	-1,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Polorozpětí [m]	Aerodynamický krouticí moment M_{kA} [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	-734,1	-555,9	-553,1	-682,7	-537,2
0,300	-623,9	-472,5	-470,1	-580,3	-456,6
0,395	-592,8	-448,9	-446,7	-551,4	-433,8
0,400	-591,2	-447,7	-445,5	-549,9	-432,7
0,500	-560,5	-424,5	-422,4	-521,3	-410,2
0,700	-504,6	-382,1	-380,2	-469,3	-369,3
1,005	-432,5	-327,5	-325,9	-402,3	-316,5
1,020	-429,4	-325,2	-323,5	-399,3	-314,2
1,025	-428,3	-324,4	-322,7	-398,4	-313,5
1,100	-412,9	-312,7	-311,1	-384,0	-302,2
1,200	-392,8	-297,5	-296,0	-365,3	-287,5
1,500	-335,7	-254,2	-253,0	-312,2	-245,7
1,800	-283,3	-214,5	-213,5	-263,5	-207,3
2,100	-235,3	-178,2	-177,3	-218,9	-172,2
2,400	-191,6	-145,1	-144,4	-178,2	-140,2
2,700	-151,9	-115,0	-114,5	-141,3	-111,2
2,995	-116,7	-88,4	-87,9	-108,5	-85,4
3,000	-116,1	-87,9	-87,5	-108,0	-85,0
3,200	-94,3	-71,4	-71,0	-87,7	-69,0
3,350	-78,9	-59,8	-59,5	-73,4	-57,8
3,500	-64,5	-48,8	-48,6	-60,0	-47,2
3,650	-50,8	-38,5	-38,3	-47,3	-37,2
3,800	-38,0	-28,8	-28,6	-35,3	-27,8
3,945	-26,5	-20,0	-19,9	-24,6	-19,4
3,950	-26,1	-19,8	-19,7	-24,3	-19,1
4,100	-15,5	-11,8	-11,7	-14,4	-11,4
4,250	-7,0	-5,3	-5,3	-6,5	-5,1
4,400	-1,5	-1,1	-1,1	-1,4	-1,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

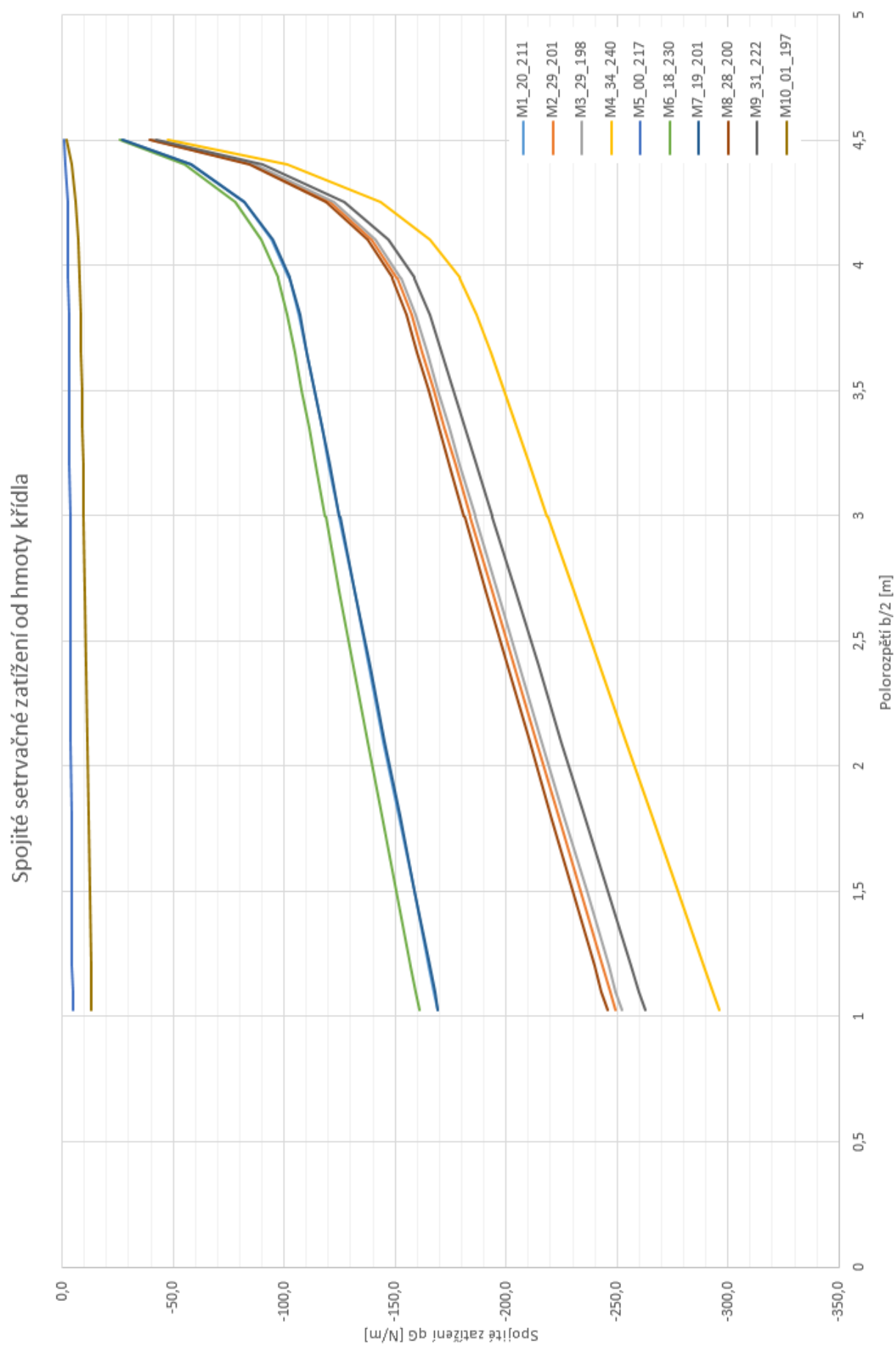


Setrvačné zatížení – Spojité zatížení od hmoty křídla q

Ve výpočtu zahrnuta pouze hmotnost vnějšího křídla z důvodu umístění tenzometrů na křídle v řezu 1005 mm od podélné osy letounu.

Polorozpětí [m]	Spojité zatížení od hmoty křídla q _G [N/m]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,395	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,020	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,025	-169,1	-249,2	-252,1	-296,1	-4,7
1,100	-167,4	-246,7	-249,6	-293,2	-4,6
1,200	-165,2	-243,5	-246,3	-289,3	-4,6
1,500	-158,4	-233,5	-236,2	-277,5	-4,4
1,800	-151,7	-223,5	-226,1	-265,6	-4,2
2,100	-144,9	-213,6	-216,0	-253,8	-4,0
2,400	-138,3	-203,8	-206,1	-242,1	-3,8
2,700	-131,5	-193,8	-196,1	-230,3	-3,6
2,995	-124,9	-184,1	-186,2	-218,7	-3,5
3,000	-124,7	-183,9	-186,0	-218,5	-3,5
3,200	-120,3	-177,3	-179,4	-210,7	-3,3
3,350	-116,9	-172,4	-174,3	-204,8	-3,2
3,500	-113,5	-167,4	-169,3	-198,9	-3,1
3,650	-110,2	-162,4	-164,3	-192,9	-3,1
3,800	-106,8	-157,4	-159,2	-187,0	-3,0
3,945	-102,4	-150,9	-152,6	-179,3	-2,8
3,950	-102,2	-150,7	-152,4	-179,0	-2,8
4,100	-94,6	-139,4	-141,0	-165,6	-2,6
4,250	-81,9	-120,8	-122,2	-143,5	-2,3
4,400	-58,0	-85,5	-86,5	-101,6	-1,6
4,500	-27,3	-40,3	-40,7	-47,8	-0,8

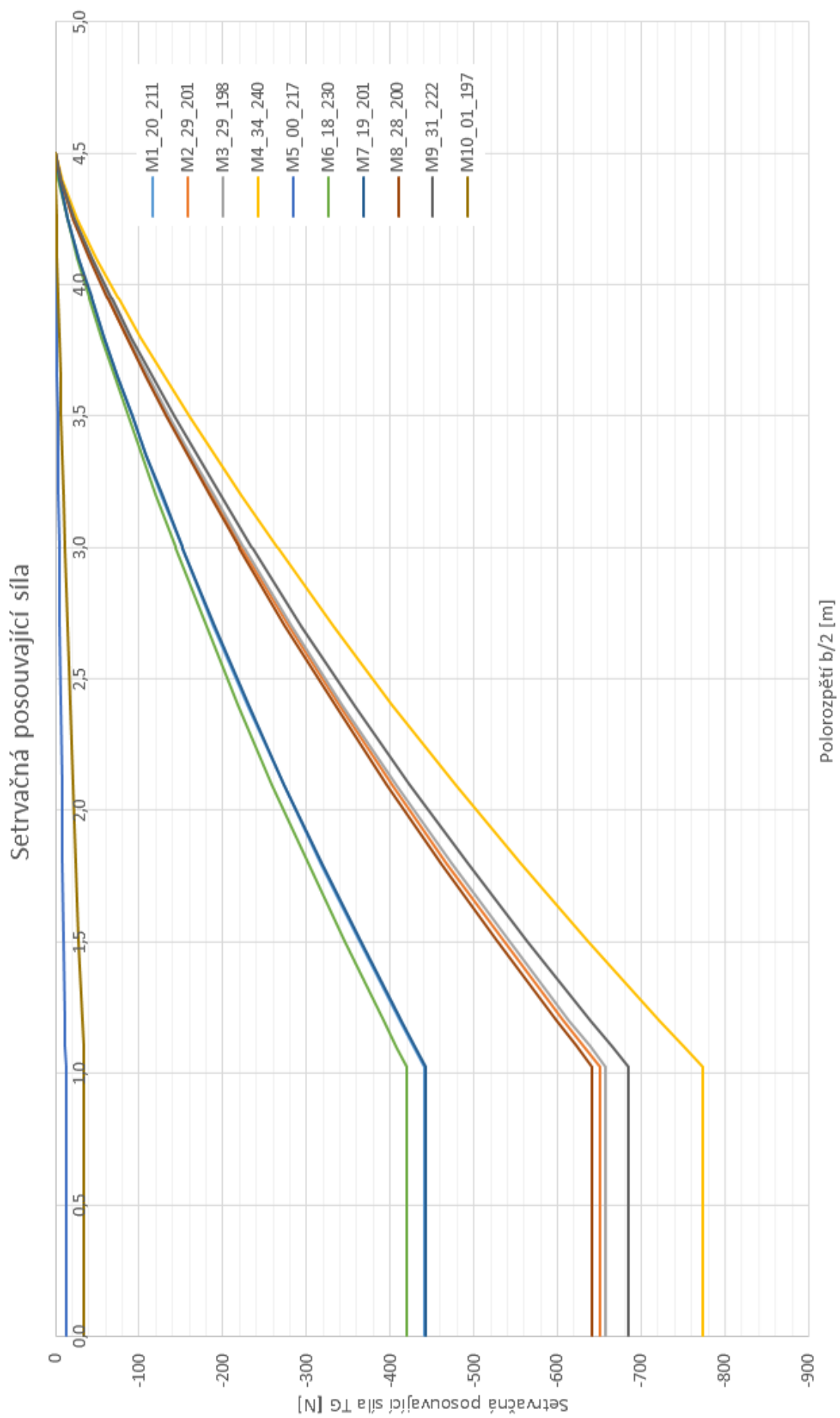
Polorozpětí [m]	Spojité zatížení od hmoty křídla q_6 [N/m]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,395	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,020	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,025	-160,7	-169,4	-245,6	-262,5	-13,1
1,100	-159,1	-167,7	-243,1	-259,9	-13,0
1,200	-157,0	-165,5	-239,9	-256,5	-12,8
1,500	-150,6	-158,7	-230,1	-246,0	-12,3
1,800	-144,2	-152,0	-220,3	-235,5	-11,8
2,100	-137,7	-145,2	-210,5	-225,0	-11,2
2,400	-131,4	-138,5	-200,8	-214,7	-10,7
2,700	-125,0	-131,8	-191,0	-204,2	-10,2
2,995	-118,7	-125,1	-181,4	-193,9	-9,7
3,000	-118,6	-125,0	-181,2	-193,7	-9,7
3,200	-114,4	-120,6	-174,7	-186,8	-9,3
3,350	-111,2	-117,2	-169,8	-181,5	-9,1
3,500	-107,9	-113,8	-164,9	-176,3	-8,8
3,650	-104,7	-110,4	-160,0	-171,0	-8,5
3,800	-101,5	-107,0	-155,1	-165,8	-8,3
3,945	-97,3	-102,6	-148,7	-158,9	-7,9
3,950	-97,2	-102,4	-148,5	-158,7	-7,9
4,100	-89,9	-94,7	-137,3	-146,8	-7,3
4,250	-77,9	-82,1	-119,0	-127,2	-6,4
4,400	-55,1	-58,1	-84,3	-90,1	-4,5
4,500	-26,0	-27,4	-39,7	-42,4	-2,1



Setrvačné zatížení – Posouvající síla T

Polorozpětí [m]	Setrvačná síla posouvající síla T _G [N]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
0,300	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
0,395	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
0,400	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
0,500	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
0,700	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
1,005	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
1,020	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
1,025	-441,2	-650,4	-657,9	-772,7	-12,2
1,100	-428,6	-631,8	-639,0	-750,6	-11,9
1,200	-412,0	-607,3	-614,2	-721,5	-11,4
1,500	-363,4	-535,7	-541,9	-636,5	-10,1
1,800	-316,9	-467,2	-472,5	-555,0	-8,8
2,100	-272,4	-401,6	-406,2	-477,1	-7,6
2,400	-230,0	-339,0	-342,9	-402,8	-6,4
2,700	-189,5	-279,3	-282,5	-331,9	-5,3
2,995	-151,7	-223,6	-226,2	-265,7	-4,2
3,000	-151,1	-222,7	-225,2	-264,6	-4,2
3,200	-126,6	-186,6	-188,7	-221,7	-3,5
3,350	-108,8	-160,3	-162,2	-190,5	-3,0
3,500	-91,5	-134,8	-136,4	-160,2	-2,5
3,650	-74,7	-110,1	-111,4	-130,8	-2,1
3,800	-58,4	-86,1	-87,1	-102,3	-1,6
3,945	-43,3	-63,8	-64,5	-75,8	-1,2
3,950	-42,8	-63,0	-63,8	-74,9	-1,2
4,100	-28,0	-41,3	-41,7	-49,0	-0,8
4,250	-14,8	-21,8	-22,0	-25,9	-0,4
4,400	-4,3	-6,3	-6,4	-7,5	-0,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Polorozpětí [m]	Spojité zatížení od hmoty křídla q_G [N/m]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
0,300	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
0,395	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
0,400	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
0,500	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
0,700	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
1,005	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
1,020	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
1,025	-419,5	-442,1	-640,9	-685,0	-34,2
1,100	-407,5	-429,5	-622,5	-665,5	-33,2
1,200	-391,7	-412,8	-598,4	-639,6	-32,0
1,500	-345,5	-364,2	-527,9	-564,3	-28,2
1,800	-301,3	-317,6	-460,3	-492,1	-24,6
2,100	-259,0	-273,0	-395,7	-423,0	-21,1
2,400	-218,6	-230,4	-334,0	-357,0	-17,8
2,700	-180,2	-189,9	-275,2	-294,2	-14,7
2,995	-144,2	-152,0	-220,3	-235,5	-11,8
3,000	-143,6	-151,4	-219,4	-234,5	-11,7
3,200	-120,3	-126,8	-183,8	-196,5	-9,8
3,350	-103,4	-109,0	-158,0	-168,9	-8,4
3,500	-87,0	-91,7	-132,9	-142,0	-7,1
3,650	-71,0	-74,9	-108,5	-116,0	-5,8
3,800	-55,6	-58,6	-84,9	-90,7	-4,5
3,945	-41,1	-43,4	-62,8	-67,2	-3,4
3,950	-40,6	-42,8	-62,1	-66,4	-3,3
4,100	-26,6	-28,1	-40,7	-43,5	-2,2
4,250	-14,0	-14,8	-21,4	-22,9	-1,1
4,400	-4,1	-4,3	-6,2	-6,6	-0,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Setrvačné zatížení – Ohybový moment M_o

Polorozpětí [m]	Setrvačný ohybový moment M_{oG} [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	-1123,6	-1656,3	-1675,3	-1967,9	-31,2
0,300	-991,3	-1461,2	-1478,0	-1736,1	-27,5
0,395	-949,4	-1399,4	-1415,5	-1662,7	-26,3
0,400	-947,1	-1396,2	-1412,2	-1658,8	-26,3
0,500	-903,0	-1331,1	-1346,4	-1581,6	-25,0
0,700	-814,8	-1201,0	-1214,9	-1427,0	-22,6
1,005	-680,2	-1002,7	-1014,2	-1191,3	-18,9
1,020	-673,6	-992,9	-1004,3	-1179,7	-18,7
1,025	-671,4	-989,7	-1001,1	-1175,9	-18,6
1,100	-638,8	-941,6	-952,4	-1118,8	-17,7
1,200	-596,7	-879,6	-889,8	-1045,1	-16,6
1,500	-480,4	-708,2	-716,3	-841,4	-13,3
1,800	-378,4	-557,8	-564,2	-662,7	-10,5
2,100	-290,0	-427,5	-432,4	-507,9	-8,0
2,400	-214,6	-316,4	-320,0	-375,9	-6,0
2,700	-151,7	-223,6	-226,2	-265,7	-4,2
2,995	-101,4	-149,4	-151,2	-177,6	-2,8
3,000	-100,6	-148,3	-150,0	-176,2	-2,8
3,200	-72,9	-107,4	-108,6	-127,6	-2,0
3,350	-55,2	-81,4	-82,3	-96,7	-1,5
3,500	-40,2	-59,2	-59,9	-70,4	-1,1
3,650	-27,7	-40,9	-41,3	-48,6	-0,8
3,800	-17,7	-26,2	-26,5	-31,1	-0,5
3,945	-10,4	-15,3	-15,5	-18,2	-0,3
3,950	-10,2	-15,0	-15,1	-17,8	-0,3
4,100	-4,8	-7,1	-7,2	-8,5	-0,1
4,250	-1,6	-2,4	-2,4	-2,9	0,0
4,400	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

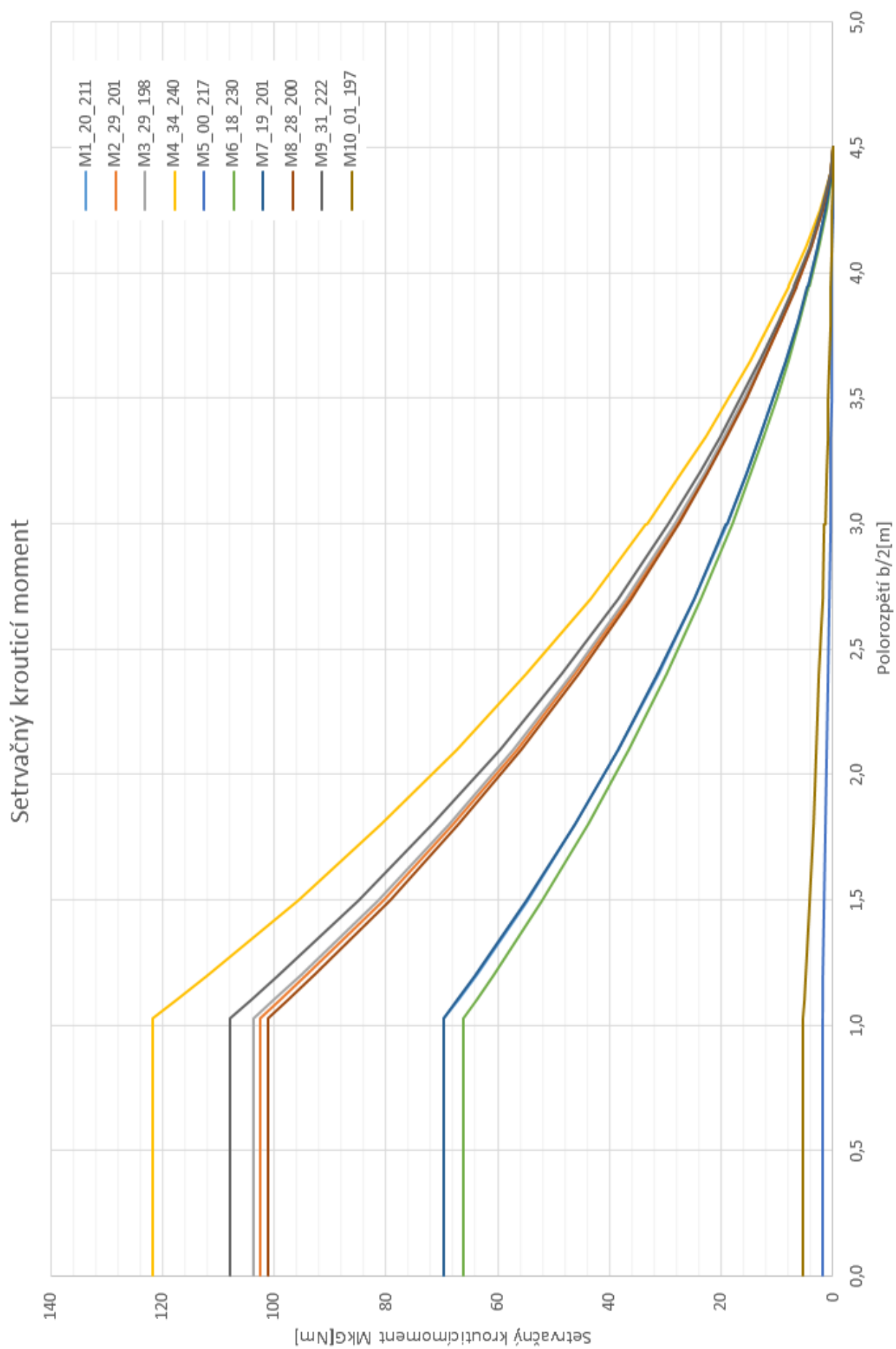
Polorozpětí [m]	Setrvačný ohybový moment M_{0G} [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	-1068,2	-1125,9	-1632,1	-1744,6	-87,1
0,300	-942,4	-993,3	-1439,8	-1539,1	-76,9
0,395	-902,5	-951,3	-1378,9	-1474,0	-73,6
0,400	-900,4	-949,1	-1375,7	-1470,6	-73,5
0,500	-858,5	-904,9	-1311,6	-1402,1	-70,0
0,700	-774,6	-816,5	-1183,5	-1265,1	-63,2
1,005	-646,7	-681,6	-988,0	-1056,1	-52,8
1,020	-640,4	-675,0	-978,4	-1045,9	-52,2
1,025	-638,3	-672,8	-975,2	-1042,4	-52,1
1,100	-607,3	-640,1	-927,8	-991,8	-49,5
1,200	-567,3	-598,0	-866,8	-926,5	-46,3
1,500	-456,7	-481,4	-697,8	-745,9	-37,3
1,800	-359,7	-379,2	-549,6	-587,5	-29,3
2,100	-275,7	-290,6	-421,2	-450,2	-22,5
2,400	-204,0	-215,1	-311,7	-333,2	-16,6
2,700	-144,2	-152,0	-220,3	-235,5	-11,8
2,995	-96,4	-101,6	-147,3	-157,4	-7,9
3,000	-95,7	-100,8	-146,2	-156,2	-7,8
3,200	-69,3	-73,0	-105,8	-113,1	-5,7
3,350	-52,5	-55,3	-80,2	-85,7	-4,3
3,500	-38,2	-40,3	-58,4	-62,4	-3,1
3,650	-26,4	-27,8	-40,3	-43,1	-2,2
3,800	-16,9	-17,8	-25,8	-27,5	-1,4
3,945	-9,9	-10,4	-15,1	-16,1	-0,8
3,950	-9,7	-10,2	-14,7	-15,8	-0,8
4,100	-4,6	-4,9	-7,0	-7,5	-0,4
4,250	-1,6	-1,6	-2,4	-2,5	-0,1
4,400	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Graf setrvačného ohybového momentu je uveden v hlavni části diplomové práce.

Setrvačné zatížení – Krouticí moment M_k

Polorozpětí [m]	Setrvačný krouticí moment M_{kG} [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
0,300	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
0,395	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
0,400	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
0,500	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
0,700	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
1,005	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
1,020	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
1,025	69,5	102,5	103,7	121,8	1,9
1,100	67,1	98,9	100,0	117,5	1,9
1,200	63,9	94,2	95,2	111,9	1,8
1,500	54,6	80,5	81,5	95,7	1,5
1,800	46,1	68,0	68,8	80,8	1,3
2,100	38,4	56,5	57,2	67,2	1,1
2,400	31,3	46,1	46,6	54,7	0,9
2,700	24,8	36,6	37,0	43,4	0,7
2,995	19,1	28,1	28,4	33,4	0,5
3,000	19,0	28,0	28,3	33,2	0,5
3,200	15,5	22,8	23,0	27,1	0,4
3,350	13,0	19,1	19,4	22,7	0,4
3,500	10,7	15,7	15,9	18,7	0,3
3,650	8,5	12,5	12,6	14,8	0,2
3,800	6,4	9,4	9,5	11,2	0,2
3,945	4,5	6,7	6,7	7,9	0,1
3,950	4,5	6,6	6,7	7,8	0,1
4,100	2,7	4,0	4,1	4,8	0,1
4,250	1,3	1,9	1,9	2,2	0,0
4,400	0,3	0,4	0,4	0,5	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

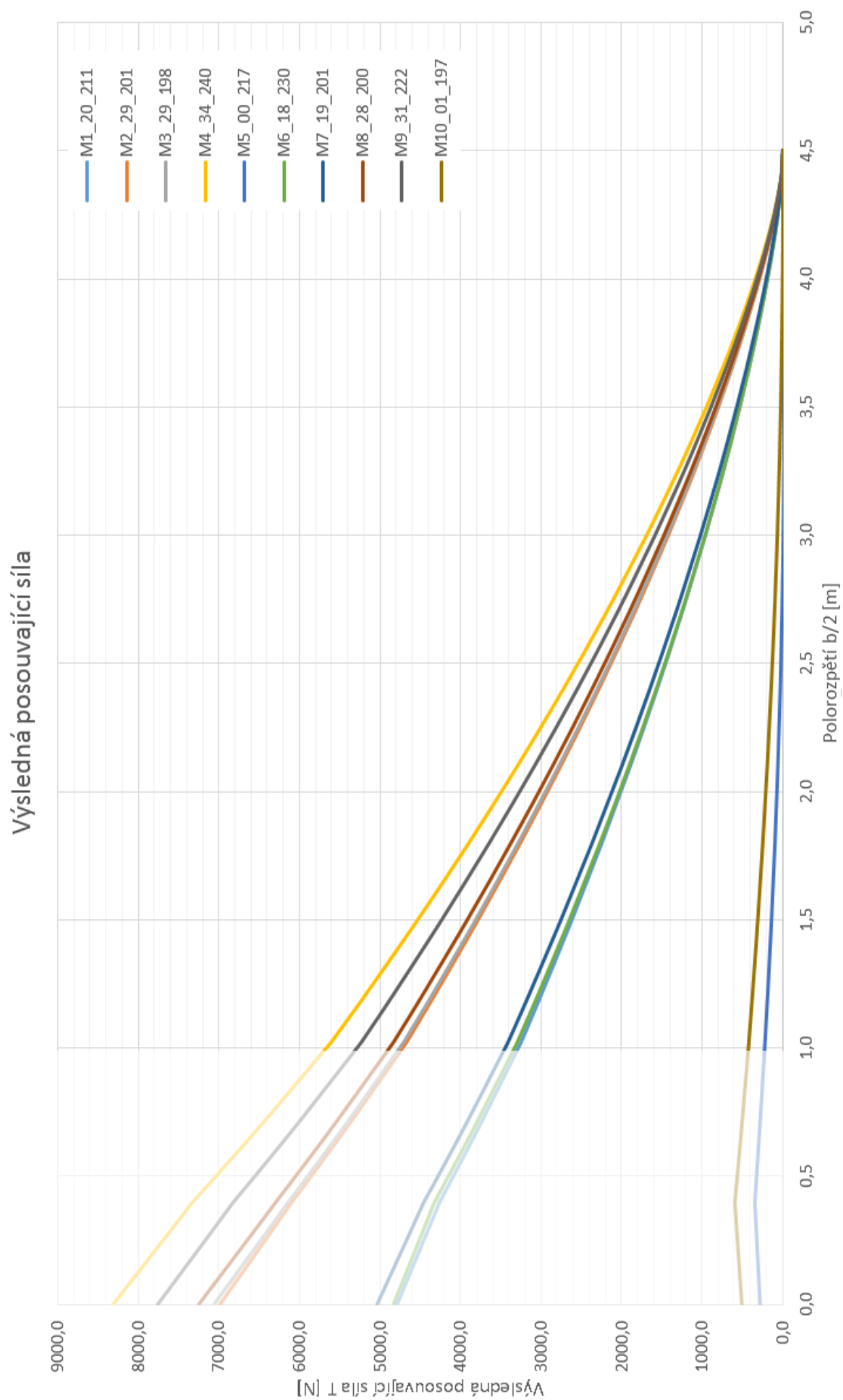
Polorozpětí [m]	Setrvačný krouticí moment M_{kG} [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
0,300	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
0,395	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
0,400	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
0,500	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
0,700	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
1,005	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
1,020	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
1,025	66,1	69,7	101,0	108,0	5,4
1,100	63,8	67,2	97,4	104,2	5,2
1,200	60,7	64,0	92,8	99,2	5,0
1,500	51,9	54,7	79,3	84,8	4,2
1,800	43,9	46,2	67,0	71,6	3,6
2,100	36,5	38,4	55,7	59,5	3,0
2,400	29,7	31,3	45,4	48,5	2,4
2,700	23,6	24,9	36,0	38,5	1,9
2,995	18,1	19,1	27,7	29,6	1,5
3,000	18,0	19,0	27,6	29,5	1,5
3,200	14,7	15,5	22,4	24,0	1,2
3,350	12,3	13,0	18,9	20,2	1,0
3,500	10,1	10,7	15,5	16,5	0,8
3,650	8,0	8,5	12,3	13,1	0,7
3,800	6,1	6,4	9,3	9,9	0,5
3,945	4,3	4,5	6,6	7,0	0,4
3,950	4,2	4,5	6,5	6,9	0,3
4,100	2,6	2,7	4,0	4,2	0,2
4,250	1,2	1,3	1,9	2,0	0,1
4,400	0,3	0,3	0,4	0,4	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Výsledné zatížení – Posouvající síla T

Polorozpětí [m]	Výsledná posouvající síla T [N]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	4793,9	6982,1	7055,5	8321,0	281,9
0,300	4394,9	6309,7	6360,7	7576,4	332,0
0,395	4270,3	6099,7	6143,7	7343,8	347,7
0,400	4262,8	6088,3	6132,0	7330,5	347,5
0,500	4094,2	5851,4	5893,6	7043,7	326,1
0,700	3763,9	5386,9	5426,1	6481,5	284,3
1,005	3280,1	4706,1	4741,0	5657,6	223,9
1,020	3257,0	4673,6	4708,2	5618,2	221,1
1,025	3249,3	4662,8	4697,3	5605,1	220,1
1,100	3147,1	4519,6	4553,4	5431,6	206,4
1,200	3012,4	4330,8	4363,4	5202,7	188,6
1,500	2620,7	3780,8	3810,1	4536,4	139,1
1,800	2248,1	3255,6	3281,6	3901,0	95,8
2,100	1895,2	2755,9	2778,6	3297,5	59,1
2,400	1562,7	2282,6	2302,0	2726,9	29,3
2,700	1251,6	1837,0	1853,2	2190,9	6,4
2,995	967,7	1427,7	1440,7	1699,7	-9,1
3,000	963,1	1421,0	1433,9	1691,7	-9,3
3,200	784,0	1161,0	1171,9	1380,5	-15,8
3,350	657,0	975,8	985,1	1159,1	-18,7
3,500	536,8	799,6	807,4	948,8	-19,9
3,650	423,7	633,2	639,4	750,5	-19,5
3,800	318,5	477,5	482,3	565,3	-17,7
3,945	225,1	338,6	342,1	400,4	-14,8
3,950	222,0	334,0	337,5	395,0	-14,7
4,100	136,0	205,6	207,7	242,8	-10,8
4,250	63,7	96,8	97,8	114,1	-6,0
4,400	11,8	18,0	18,2	21,2	-1,4
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Polorozpětí [m]	Výsledná posouvající síla T [N]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	4834,4	5043,0	7249,1	7764,6	504,5
0,300	4450,6	4604,9	6527,9	7056,2	569,2
0,395	4330,8	4468,1	6302,7	6834,9	589,5
0,400	4323,3	4460,1	6290,7	6822,5	589,3
0,500	4152,0	4285,8	6047,5	6557,7	560,6
0,700	3816,2	3944,2	5570,5	6038,4	504,6
1,005	3324,5	3443,7	4871,5	5277,5	423,3
1,020	3301,0	3419,8	4838,1	5241,2	419,4
1,025	3293,2	3411,8	4827,0	5229,1	418,1
1,100	3188,5	3305,6	4679,2	5067,9	400,0
1,200	3050,6	3165,6	4484,2	4855,4	376,3
1,500	2650,0	2758,1	3916,3	4236,4	309,0
1,800	2269,6	2370,0	3373,7	3645,8	247,8
2,100	1910,0	2001,6	2857,3	3084,3	193,0
2,400	1571,9	1653,8	2367,8	2553,0	144,9
2,700	1256,4	1327,4	1906,8	2053,2	103,6
2,995	969,3	1028,8	1482,9	1594,6	69,8
3,000	964,7	1024,0	1476,0	1587,2	69,3
3,200	784,1	835,0	1206,6	1296,2	50,4
3,350	656,3	700,8	1014,5	1089,1	38,2
3,500	535,6	573,4	831,7	892,2	27,9
3,650	422,3	453,3	659,0	706,3	19,3
3,800	317,0	341,3	497,2	532,5	12,3
3,945	223,7	241,7	352,8	377,5	7,0
3,950	220,6	238,4	348,1	372,4	6,8
4,100	135,0	146,4	214,4	229,2	2,9
4,250	63,1	68,8	101,1	107,9	0,7
4,400	11,7	12,8	18,9	20,2	-0,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Výsledné zatížení – Ohybový moment Mo

Polorozpětí [m]	Výsledný ohybový moment Mo [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	8760,7	12666,4	12769,4	15180,3	444,4
0,300	7382,4	10672,6	10757,0	12795,7	352,3
0,395	6970,8	10083,2	10163,0	12087,0	320,0
0,400	6949,4	10052,7	10132,3	12050,3	318,3
0,500	6531,6	9455,7	9531,1	11331,6	284,6
0,700	5745,8	8331,9	8399,1	9979,1	223,5
1,005	4671,6	6792,7	6848,6	8127,9	146,0
1,020	4622,5	6722,4	6777,7	8043,3	142,7
1,025	4606,3	6699,0	6754,2	8015,2	141,6
1,100	4366,4	6354,7	6407,3	7601,4	125,6
1,200	4058,4	5912,2	5961,5	7069,6	105,8
1,500	3213,5	4695,4	4735,5	5608,8	56,7
1,800	2483,1	3640,0	3671,7	4343,2	21,4
2,100	1861,7	2738,3	2762,7	3263,4	-1,8
2,400	1343,0	1982,5	2000,6	2359,7	-15,0
2,700	920,8	1364,6	1377,3	1622,1	-20,4
2,995	593,5	883,0	891,5	1048,2	-20,0
3,000	588,6	875,9	884,3	1039,7	-20,0
3,200	413,9	617,7	623,7	732,5	-17,5
3,350	305,8	457,4	461,9	542,0	-14,9
3,500	216,3	324,3	327,5	383,9	-12,0
3,650	144,3	216,8	219,0	256,5	-9,0
3,800	88,6	133,5	134,9	157,8	-6,2
3,945	49,2	74,3	75,1	87,8	-3,9
3,950	48,1	72,7	73,4	85,8	-3,8
4,100	21,2	32,2	32,5	38,0	-1,9
4,250	6,2	9,5	9,6	11,2	-0,6
4,400	0,6	0,9	0,9	1,1	-0,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

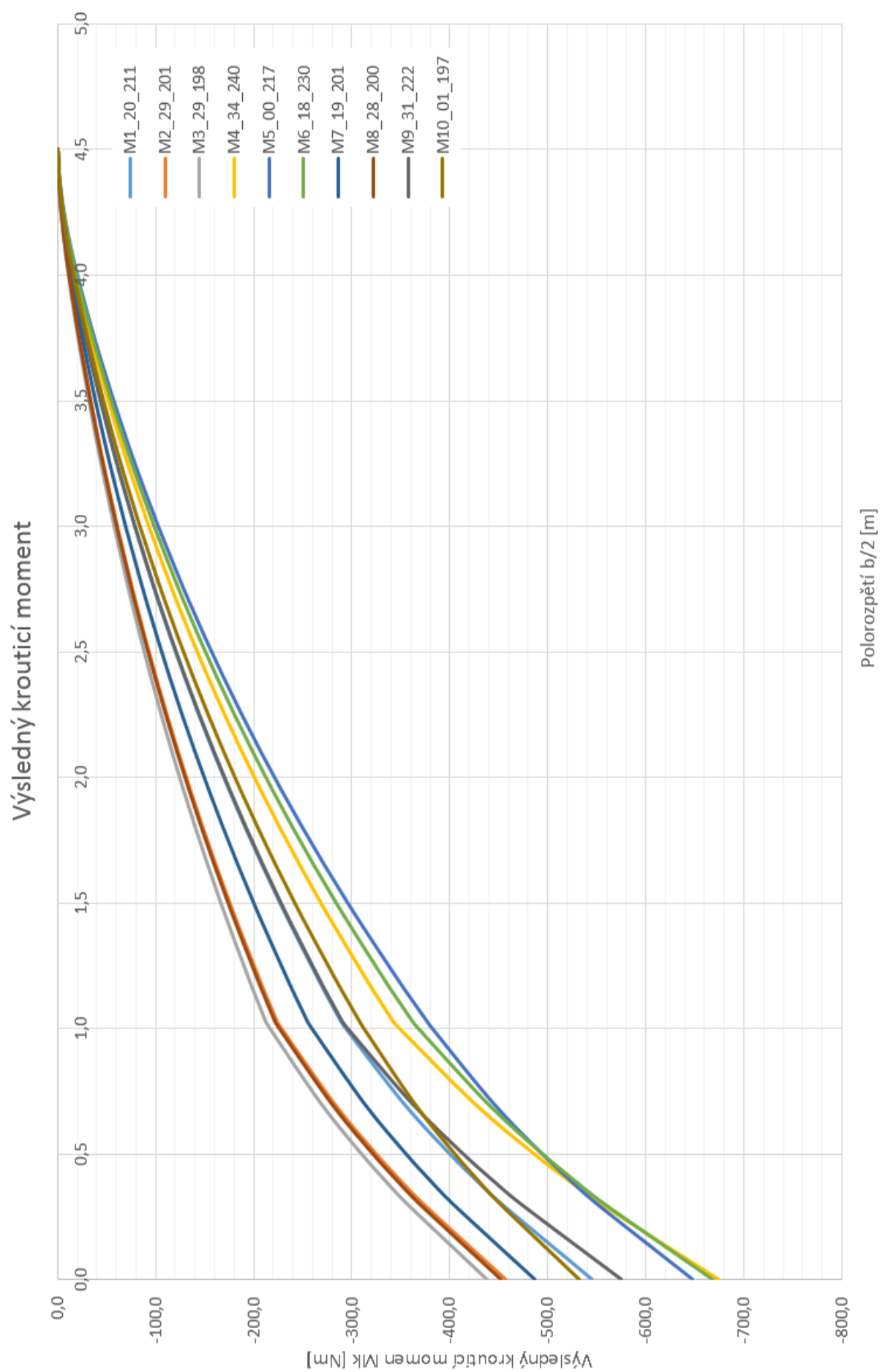
Polorozpětí [m]	Výsledný ohybový moment M_o [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	8849,5	9221,6	13121,8	14174,4	1000,7
0,300	7456,7	7774,4	11055,3	11951,3	839,7
0,395	7039,6	7343,5	10445,8	11291,5	784,7
0,400	7018,0	7321,1	10414,3	11257,3	781,7
0,500	6594,2	6883,8	9797,4	10588,3	724,2
0,700	5797,4	6060,8	8635,6	9328,7	617,7
1,005	4708,4	4934,2	7043,2	7603,0	476,2
1,020	4658,7	4882,7	6970,4	7524,2	469,9
1,025	4642,3	4865,6	6946,2	7498,0	467,8
1,100	4399,2	4613,7	6589,7	7111,8	437,1
1,200	4087,2	4290,2	6131,6	6615,7	398,3
1,500	3232,1	3401,6	4871,5	5251,9	295,5
1,800	2494,2	2632,4	3778,0	4069,6	211,9
2,100	1867,3	1976,7	2843,3	3060,0	145,8
2,400	1345,0	1428,4	2059,6	2214,4	95,1
2,700	920,7	981,2	1418,4	1523,5	57,9
2,995	592,4	633,6	918,4	985,5	32,3
3,000	587,6	628,5	911,0	977,5	32,0
3,200	412,7	442,6	642,7	689,2	20,0
3,350	304,7	327,4	476,2	510,3	13,3
3,500	215,3	231,8	337,7	361,7	8,4
3,650	143,5	154,8	225,9	241,8	4,8
3,800	88,0	95,2	139,2	148,9	2,5
3,945	48,8	53,0	77,5	82,9	1,1
3,950	47,7	51,8	75,8	81,0	1,0
4,100	21,1	22,9	33,6	35,9	0,3
4,250	6,2	6,8	9,9	10,6	0,0
4,400	0,6	0,6	0,9	1,0	0,0
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Graf výsledného ohybového momentu je uveden v hlavní části diplomové práce


Výsledné zatížení – Krouticí moment M_k

Polozpětí [m]	Výsledný krouticí moment M_k [Nm]				
	M1_20_211	M2_29_201	M3_29_198	M4_34_240	M5_00_217
0,000	-545,5	-456,7	-437,9	-673,4	-647,4
0,300	-453,2	-372,8	-356,6	-554,0	-550,0
0,395	-427,2	-349,1	-333,7	-520,4	-522,5
0,400	-425,8	-347,9	-332,5	-518,7	-521,1
0,500	-400,1	-324,5	-309,8	-485,4	-493,9
0,700	-353,2	-281,9	-268,6	-424,8	-444,4
1,005	-292,8	-227,0	-215,4	-346,7	-380,7
1,020	-290,2	-224,6	-213,1	-343,3	-377,9
1,025	-289,3	-223,8	-212,3	-342,2	-377,0
1,100	-278,9	-215,7	-204,6	-329,8	-363,4
1,200	-265,2	-205,1	-194,6	-313,6	-345,7
1,500	-226,7	-175,2	-166,2	-268,0	-295,5
1,800	-191,2	-147,8	-140,2	-226,1	-249,3
2,100	-158,8	-122,7	-116,4	-187,7	-207,1
2,400	-129,3	-99,9	-94,8	-152,8	-168,6
2,700	-102,5	-79,2	-75,1	-121,1	-133,7
2,995	-78,7	-60,8	-57,7	-93,0	-102,7
3,000	-78,3	-60,5	-57,4	-92,5	-102,2
3,200	-63,5	-49,1	-46,5	-75,1	-83,0
3,350	-53,2	-41,0	-38,9	-62,8	-69,5
3,500	-43,4	-33,4	-31,7	-51,2	-56,7
3,650	-34,1	-26,3	-24,9	-40,2	-44,7
3,800	-25,4	-19,5	-18,5	-30,0	-33,4
3,945	-17,7	-13,5	-12,8	-20,8	-23,3
3,950	-17,4	-13,3	-12,6	-20,4	-23,0
4,100	-10,3	-7,8	-7,4	-12,0	-13,7
4,250	-4,6	-3,4	-3,3	-5,3	-6,1
4,400	-1,0	-0,7	-0,7	-1,1	-1,3
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0


Polorozpětí [m]	Výsledný krouticí moment M_k [Nm]				
	M6_18_230	M7_19_201	M8_28_200	M9_31_222	M10_01_197
0,000	-667,9	-486,2	-452,1	-574,8	-531,8
0,300	-557,8	-402,8	-369,1	-472,3	-451,2
0,395	-526,7	-379,2	-345,7	-443,4	-428,4
0,400	-525,1	-378,0	-344,5	-441,9	-427,3
0,500	-494,4	-354,8	-321,3	-413,3	-404,8
0,700	-438,5	-312,4	-279,2	-361,3	-363,9
1,005	-366,4	-257,8	-224,9	-294,3	-311,1
1,020	-363,2	-255,5	-222,5	-291,4	-308,8
1,025	-362,2	-254,7	-221,7	-290,4	-308,1
1,100	-349,1	-245,5	-213,7	-279,9	-297,0
1,200	-332,1	-233,5	-203,2	-266,2	-282,5
1,500	-283,8	-199,5	-173,6	-227,4	-241,4
1,800	-239,4	-168,3	-146,5	-191,8	-203,7
2,100	-198,9	-139,8	-121,6	-159,3	-169,2
2,400	-161,9	-113,8	-99,0	-129,7	-137,8
2,700	-128,3	-90,2	-78,4	-102,8	-109,3
2,995	-98,5	-69,3	-60,2	-78,9	-83,9
3,000	-98,1	-68,9	-59,9	-78,5	-83,5
3,200	-79,6	-55,9	-48,6	-63,7	-67,8
3,350	-66,6	-46,8	-40,6	-53,3	-56,8
3,500	-54,3	-38,1	-33,1	-43,4	-46,4
3,650	-42,8	-30,0	-26,0	-34,1	-36,5
3,800	-31,9	-22,4	-19,4	-25,4	-27,3
3,945	-22,2	-15,5	-13,4	-17,6	-19,0
3,950	-21,8	-15,3	-13,2	-17,3	-18,7
4,100	-12,9	-9,0	-7,7	-10,2	-11,1
4,250	-5,8	-4,0	-3,4	-4,5	-5,0
4,400	-1,2	-0,8	-0,7	-0,9	-1,1
4,500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



Příloha D – Navržený letový plán pevnostní letové zkoušky

 LETECKÝ ÚSTAV Institute of Aerospace Engineering		Pevnostní letová zkouška Metodika zkoušky		Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství Letecký ústav Technická 2896/2, Brno 602 00 http://lu.fme.vutbr.cz	
Konfigurace				Časové údaje	
Letoun:	Hmotnost před/po:	Posádka:		Číslo letu:	
Pozn. Značka:	Centráž:	Meteo podm.:		Datum:	
Výr. číslo:	Palivo před/po:	Úprava letounu:		Čas vzletu/přistání:	
				Letová doba:	

Metodika zkoušky																							
<p>Podmínky zkoušky:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ovzduší pro podmínky VFR, absolutně klidné bez turbulence - Znalost limitů obálky pro danou konfiguraci dle LP - Nivelovaný letoun a přesně známá okamžitá hmotnost letounu <p>Cíl:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Předepsanými manévry dosáhnout předepsané násoby n <p>Postup:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Po vzletu zasunout podvozek, zavřít klapky a nastoupat do bezpečné výšky (doporučeno min. FL80) - Provést letové manévry <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; vertical-align: top;">1. manévr ZAT1</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">2. manévr ZAT2</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">3. manévr ZAT3</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">4. manévr ZAT4</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">5. manévr ZAT5</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">6. manévr ZAT6</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=240$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">7. manévr VOP1</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=190$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">8. manévr VOP2</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">9. manévr VYBR1</td> <td>Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=200$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +2g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">10. manévr VYBR2</td> <td>Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=240$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +3g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">10. manévr ZAP0</td> <td>Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP vychýlením výškového kormidla směrem dopředu do násobku -1g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.</td> </tr> </table> <p>- provedte přistání</p>		1. manévr ZAT1	Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	2. manévr ZAT2	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	3. manévr ZAT3	Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	4. manévr ZAT4	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	5. manévr ZAT5	Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	6. manévr ZAT6	Vyvážit rychlost $V_A=240$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo	7. manévr VOP1	Vyvážit rychlost $V_A=190$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.	8. manévr VOP2	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.	9. manévr VYBR1	Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=200$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +2g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.	10. manévr VYBR2	Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=240$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +3g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.	10. manévr ZAP0	Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP vychýlením výškového kormidla směrem dopředu do násobku -1g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.
1. manévr ZAT1	Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
2. manévr ZAT2	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
3. manévr ZAT3	Vyvážit rychlost $V_A=200$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
4. manévr ZAT4	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +2,5g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
5. manévr ZAT5	Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
6. manévr ZAT6	Vyvážit rychlost $V_A=240$ km/h IAS, provést manévr horizontální zatáčka s násobkem +3g a vydržet na daném násobku alespoň 10 vteřin. Manévr opakovat 2x vlevo a 2x vpravo																						
7. manévr VOP1	Vyvážit rychlost $V_A=190$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.																						
8. manévr VOP2	Vyvážit rychlost $V_A=230$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP náhlým přitažením výškového kormidla do násobku +2,5g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.																						
9. manévr VYBR1	Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=200$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +2g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.																						
10. manévr VYBR2	Ustálit letoun ve strmém klesání na rychlosti $V_A=240$ km/h IAS, po ustálení zahájit vybrání při konstantním násobku +3g až do vrácení polohy letounu do horizontálního letu. Manévr opakovat 3x.																						
10. manévr ZAP0	Vyvážit rychlost $V_A=210$ km/h IAS, provést manévr vychýlení VOP vychýlením výškového kormidla směrem dopředu do násobku -1g, po dosažení vrátit kormidlo zpět do polohy pro horizontální let. Manévr opakovat 3x.																						

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div> LETECKÝ ÚSTAV <small>Institute of Aerospace Engineering</small> </div> </div> <div style="text-align: center;"> Pevnostní letová zkouška Palubní záznam </div> <div style="text-align: right; font-size: small;"> Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství Letecký ústav Technická 2896/2, Brno 602 00 http://lu.fme.vutbr.cz </div> </div>						
No.	Manévr	Vyvážená rychlost IAS [km/h]	Předepsaný násobek [g]	čas zahájení	Dosažený násobek [g]	Poznámky k manévru
1	ZAT1_L	200	2			
2	ZAT1_P	200	2			
3	ZAT1_L	200	2			
4	ZAT1_P	200	2			
5	ZAT2_L	230	2			
6	ZAT2_P	230	2			
7	ZAT2_L	230	2			
8	ZAT2_P	230	2			
9	VOP1	190	2,5			
10	VOP1	190	2,5			
11	VOP1	190	2,5			
12	VOP2	230	2,5			
13	VOP2	230	2,5			
14	VOP2	230	2,5			
15	ZAT3_L	200	2,5			
16	ZAT3_P	200	2,5			
17	ZAT3_L	200	2,5			
18	ZAT3_P	200	2,5			
19	ZAT4_L	230	2,5			

No.	Manévr	Vyvážená rychlost IAS [km/h]	Násobek manévru [g]	čas zahájení	Dosažený násobek [g]	Poznámky k manévru
20	ZAT4_P	230	2,5			
21	ZAT4_L	230	2,5			
22	ZAT4_P	230	2,5			
23	VYBR1	200	2			
24	VYBR1	200	2			
25	VYBR1	200	2			
26	VYBR2	240	3			
27	VYBR2	240	3			
28	VYBR2	240	3			
29	ZAT5_L	210	3			
30	ZAT5_P	210	3			
31	ZAT5_L	210	3			
32	ZAT5_P	210	3			
33	ZAT6_L	240	3			
34	ZAT6_P	240	3			
35	ZAT6_L	240	3			
36	ZAT6_P	240	3			
37	ZAP0	210	-1			
38	ZAP0	210	-1			
39	ZAP0	210	-1			